MEJORAMIENTO DEL RECORRIDO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORDINARIOS EN LA ZONA DE MINA SUR DE CARBONES DEL CERREJÓN, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO DE RUTEO.

YURELIS ESPINOSA CASTRO

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

BARRANQUILA-ATLANTICO

2015

MEJORAMIENTO DEL RECORRIDO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORDINARIOS EN LA ZONA DE MINA SUR DE CARBONES DEL CERREJÓN, MEDIANTE LA IMPLEMENTACION DE UN MODELO MATEMÁTICO DE RUTEO.

YURELIS ESPINOSA CASTRO

Proyecto de grado presentado para optar
Al título de Ingeniera Industrial

Directora De Proyecto
Ing. LUZ ADRIANA BORRERO
Tutor De Proyecto
Ing. JOSE FERRO CORREO

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

BARRANQUILA-ATLANTICO

2015

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

FIRMA DEL TUTOR DEL PROYECTO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

AGRADECIMIENTOS

El trabajo de grado que se muestre a continuación, no hubiera sido posible sin la ayuda, primero de Dios que me dio la fortaleza de seguir adelante, de guiar mi camino, el apoyo de mis padres, que me motivan cada día alcanzar mis metas, y a mis tutores Luz Adriana y Jose Ferro por su dirección en este proyecto

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS

LISTA DE GRÁFICOS

OTROS

RESUMEN

El Trabajo de grado que se presenta a continuación tiene como objeto optimizar la ruta de recolección de Residuos sólidos ordinarios definiéndose como aquellos generados en el desempeño normal de las actividades, estos residuos se generan en oficinas, pasillos, áreas comunes, cafeterías, salas de espera, auditorios y en general en todos los sitios del establecimiento del generador, en este caso en las islas, líneas y oficinas del área de mina sur, de la empresa Carbones del Cerrejón, con el fin de reducir los costos asociados al proceso, como es el costo de combustible y mantenimiento de los compactadores recolectores de basura.

Para lograr optimizar el proceso de recolección, se hará un diagnóstico y seguimiento a la ruta, para evaluar el estado del proceso, y determinar los puntos vulnerables asociados a él, así mismo luego de hacer el diagnóstico preliminar del proceso, se estudiaran los métodos relacionados al enrutamiento de vehículos, la revisión literaria por la cual se soporta el método que se utilizara en el proyecto.

Luego de obtener una clara definición de los procesos, se proseguirá con el modelamiento del problema. Para esto, se realizara la matriz de distancia de cada punto del área de mina sur, las variables y los parámetros, que intervienen en el proceso, las restricciones y la función objetivo que definen y acotan el problema.

Una vez modelado el problema se proseguirá con su solución, se implementara la nueva ruta de recolección, y se hará seguimiento del comportamiento, para después comparar los resultado obtenidos, con los datos que ya se tenían de la investigación, llegando a la conclusión que con la implementación de la nueva ruta determinada en el “Software Solver” se obtiene una disminución en tiempo y distancia del proceso de recolección de residuos sólidos.

PALABRAS CLAVE

Logística, Residuos sólidos, Modelo matemático, Ruteo.

ABSTRACT

The degree work presented below was intended to optimizing solid waste collection routes in the area of south mine of Carbones Del Cerrejón, in order to reduce the costs associated with the process, such as the cost of fuel and maintenance collector's trash.

In order to optimize the collection process, an analysis was done which included following the route, assessing the state of the process and identifying vulnerabilities associated with it. Then the same preliminary diagnosis of the process, and related methods were studied such as vehicle routing. The literature review showed why the method used in the project is supported.

After obtaining a clear definition of processes it was continued modeling of the problem. For this, the distance matrix of each point of the area of south mine, variables and parameters involved in the process, the constraints and the objective function that defines and delimit the problem was made.

After modeling the problem continued with their resolution, the new collection route was implemented, and the behavior was monitored, and then compared with the results obtained with the data from previous research, concluding that the implementation of the new particular route showed a decrease in time and get away from the process of collecting solid waste.

KEY WORDS

Logistics, Solid waste, Mathematical model, Routing.

INTRODUCCIÓN

En el quehacer logístico aparecen comúnmente problemas en los que no se pueden obtener soluciones óptimas en tiempos acotados poligonalmente, salvo algunas excepciones como el camino más corto entre pares de nodos de una red, flujo máximo soportado y el árbol de mínima expansión, que cuentan con algoritmos eficientes.

El problema de ruteo de vehículos (VRP por sus siglas en inglés) es el nombre genérico dado a la clase de problemas en los que se debe determinar una serie de rutas para una flota de vehículos basados en uno o más depósitos, para un cierto número de ciudades o clientes geográficamente dispersos.

Los problemas básicos asociados usualmente al diseño de las rutas de recolección son el problema del vendedor viajero, utilizado para diseñar rutas cuando el sistema de recolección es de parada fija (visita de un conjunto de nodos) y el problema del cartero chino, utilizado cuando el sistema de recolección es por acera (recorrido de un conjunto de arcos).

Jewell W(1962). consideró un problema generalizado de transporte de costo mínimo, introduciendo el concepto de ganancia en la red, mientras que Anderson y Nigam, analizaron el problema de transporte de residuos desde estaciones de transferencia hasta sitios de disposición final al mínimo costo.

Este problema es enfocado generalmente a reducir la distancia de recolección por medio de la aplicación de modelos de optimización disminuir el tiempo total de recolección, repartición homogénea de las cargas de recolección en los sectores definidos, o para definir el tipo de disposición final (vertedero o incinerador), su ubicación, frecuencia de recolección y número de vehículos.

Este documento presenta un caso de estudio en la empresa Carbones Del Cerrejón Ltda. Ubicada en el municipio de Albania, Guajira donde se desea determinar una ruta que minimice el costo de viaje, asociados a proceso de recolección de residuos sólidos en el área de minas, específicamente en mina sur. El proyecto hace uso de la información como el costo de transporte

entre los diferentes puntos que definen el problema. El problema se modela como un problema VRP (Problema de Ruteo de Vehículos) donde se tienen vehículos de capacidad (carga y recorrido) infinita, entonces el VRP es equivalente a un TSP (problema del vendedor viajero). Para determinar la solución el problema se modela en la hoja de cálculo Excel utilizando el complemento solver y se exponen los pasos adicionales requeridos para poder abordar el TSP en la hoja cálculo.

1. GENERALIDADES

1.1. TITULO

Mejoramiento del recorrido de recolección de residuos sólidos ordinarios en la zona de mina sur de carbones del cerrejón, mediante la implementación de un modelo matemático de ruteo.

1.2. SITUACIÓN PROBLEMA

1.2.1 Planteamiento del problema

Carbones del Cerrejón Ltda. Para llevar a cabo su principal proceso que es la minería de carbón a cielo abierto, necesita el soporte de varios departamentos, que encaminen a cumplir con la principal función y ser de la empresa. El departamento de servicios corporativos de la empresa Cerrejón, es el encargado de brindar los servicios de transporte terrestre, transporte aéreo, alimentación, hotel y servicios generales.

En la prestación de servicios generales de aseo e higiene, se lleva a cabo el proceso de recolección de residuos sólidos ordinarios en el cual se recolecta en promedio cerca de 10 mil toneladas de residuos al año, los cuales provienen del área de campamento, de la zona industrial, de la mina y de algunos puntos externos. Para llevar a cabo este proceso cuentan con 4 camiones compactadores de basura, dos de ellos para back up en caso de falla de los 2 principales, y adicional a esto se manejan dos rutas, una que se ocupa del campamento y área externa, y otra, encargada de la zona industrial y mina.

La problemática que está presentando el sistema de transporte actual, se define como falta de planeación, programación y control en la operación logística, no se tiene una ruta de recolección estipulada, que matemáticamente por tiempos y distancias sea óptima. Un problema de enrutamiento de vehículos VRP, solo se tiene en cuenta para la escogencia de la ruta de recolección, los puntos que por percepción se creen que están cerca uno de otros, adicional a esto dentro del proceso de recolección, se realizan actividades que no son propias del proceso y que le

restan tiempo óptimo al sistema, es decir puntos vulnerables que hacen que el sistema no sea en su totalidad efectivo.

Por tanto con el desarrollo de la presente investigación se busca dar solución al plan de ruteo y a los puntos vulnerables del sistema de recolección de residuos, permitiendo así a la compañía mejorar la calidad de servicio el aprovechamiento de los recursos y mejora los costos de operación.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo se puede llevar a cabo una implementación de un nuevo plan en el proceso de recolección de residuos ordinarios eficiente, en la empresa Carbones del Cerrejón Ltda.

1.2.3 Sistematización

- ¿Cuáles son los puntos vulnerables del proceso de recolección de residuos sólidos en el área de minas en Carbones del Cerrejón?
- ¿Modelar matemáticamente un plan de ruteo en el proceso de recolección de residuos sólidos puede ayudarnos a reducir costos?
- ¿Diseñar los soportes para la programación de rutas y tiempos por medio de formatos y documentos puede ayudarnos a reducir los costos de tiempo y distancia?
- ¿Implementar el modelo de ruteo, reduciría costos asociados a los compactadores, como combustible y mantenimiento?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Los problemas de rutas de vehículos (Vehicle Routing Problem - VRP) en realidad son un amplio conjunto de variantes y personalizaciones de problemas, desde los que son más sencillos hasta algunos que hoy en día siguen siendo materia de investigación.

En ellos en general, se trata de averiguar las rutas de una flota de transporte para dar servicio a unos clientes. Este tipo de problemas pertenece a los problemas de optimización combinatoria. En la literatura científica, Dantzig y Ramser, fueron los primeros autores en 1959, cuando estudiaron la aplicación real en la distribución de gasolina para estaciones de carburante.

En pro de generar un desarrollo sostenible para la empresa Carbones del Cerrejón Ltda., es importante que cada uno de sus procesos ya sea directamente relacionado con la minería o indirectamente, genere un impacto positivo y ayuden a cumplir con los objetivos de la empresa.

Partiendo de allí, debido a la necesidad de la empresa de mejorar continuamente sus procesos y reducir costos, se quiere implementar un modelo matemático que permita reducir tiempo y distancia en el proceso y que a la larga reduzca costos en el sistema de recolección de residuos sólidos.

La investigación propuesta busca la aplicación de la teoría y los conceptos de logística, para implementar un modelo heurístico el cual brinde un apoyo a la situación planteada de la falta de sistema de ruteo de los residuos sólidos, que afecta directamente a los costos del proceso.

Para la realización del proyecto se pretende realizar en primera instancia una fase de diagnóstico donde se recolecta información, se sistematiza, se analiza y se hace un informe de cómo es el estado del proceso y cuáles son los puntos vulnerables de que en él se presentan.

Después sigue el desarrollo de la solución planteada (sistema de ruteo) y la realización del trabajo de campo, parte legal, y con otra serie de aspectos que son indispensables a la hora de desarrollar la solución propuesta.

Finalmente se analizara y se hará una comparación de los resultados arrojados a partir de la implementación del modelo de ruteo, con la situación actual del proceso de recolección, esto con

el fin de tomar decisiones acerca que decisiones y mejoras implementar, y que cambios hacer posteriormente.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Mejorar el recorrido de recolección de residuos sólidos ordinarios de carbones del cerrejón en la zona de mina sur, mediante la implementación de un modelo matemático de ruteo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual del proceso de recolección de residuos sólidos ordinarios, para determinar los puntos vulnerables del sistema.
- Implementar el modelo heurístico de agente viajero en el plan de ruteo, para reducir costos de tiempos y distancias.
- Aplicar una prueba piloto, para verificar la factibilidad de la propuesta de mejora.
- Comparar los resultados del plan de ruteo actual y el establecido matemáticamente, para decidir si cambiar el plan de ruteo o seguir con la ruta actual establecida.

1.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Tipo de investigación

El proyecto se desarrollara bajo una metodología, descriptiva práctica, en la que se busca mediante la implementación de un modelo de ruteo heurístico reducir tiempos y distancias en el proceso de recolección de residuos sólidos en Carbones Del Cerrejón.

Para llevar a cabo el objeto de estudio como etapa inicial del proceso se hace necesario estudiar los diferentes tipos de problemas de ruteo de vehículos y las técnicas de solución respectivas, según la revisión del estado del arte, posteriormente se formula y se implementa la metodología de solución y finalmente se validan los resultados obtenidos. Para llevar a cabo estas etapas es de vital importancia determinar el método más adecuado para la investigación, que permita dar solución al problema.

1.5.2 Técnicas de recolección de datos

- Observación: Se realizará en las visitas a los puntos de recolección del área de mina sur, en Carbones del Cerrejón, en salidas de campo donde se evalué el trasporte de los vehículos; y del proceso de recolección.
- Documentos existentes: Toda la documentación administrativa encontrada en formato digital, y que pueda servir como referente para comparar los procesos actuales con los futuros.
- Mix Telematics: Nos apoyaremos de la aplicación del VDO, para hacerle seguimiento al proceso de recolección.

1.5.3 Proceso metodológico

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROCESO METODOLÓGICO
Diagnóstico de la situación actual del proceso de recolección de residuos	Mediante, la observación y seguimiento a la ruta de recolección de residuos en mina sur, se evaluará el estado del proceso de recolección.
Establecer el modelo matemático del agente viajero que permita mejorar la gestión logística del trasporte de residuos.	A través del estudio de los problemas de enrutamiento de vehículos, y la revisión del estado del arte, se implementara el modelo del agente viajero.
Aplicar una prueba piloto, para verificar la factibilidad de la propuesta de mejora.	Se escoge un día, donde se aplicara la nueva ruta de recolección, determinada mediante el modelo del agente viajero
Comparación de resultados	Comparación de los resultados obtenidos, con la situación actual del proceso de recolección de residuos.

Cuadro 1.Proceso metodológico

1.6. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Delimitación espacial

La investigación se realizará en la población de Albania, Guajira

1.6.2 Delimitación temporal

La investigación se desarrollara durante 4 meses del mes de septiembre a mitad del mes de diciembre.

1.8.3 Delimitación geográfica

La zona de estudio donde se realizara el estudio, se realizara la prueba piloto es en carbones del cerrejón en la población de Albania Guajira, específicamente en el área de minas de la empresa, Mina Sur y Mina Norte.

Imagen 1. Delimitación geográfica de la mina, Carbones Del Cerrejón

1.7. ALCANCE Y LIMITACIONES

1.7.1 Alcance

La iniciativa de mejorar el proceso de recolección de residuos sólidos ordinarios, radica en la necesidad por parte de la superintendencia de servicios corporativos de Carbones del Cerrejón, en prestar un servicio eficiente, pero a su vez un servicio que no genere altos costos, sino que contribuya al PLAN COMPITE (mecanismos pata optimizar los procesos de la empresa en busca de disminuir costos) de reducción de costos, que actualmente la empresa lleva a cabo.

El proyecto de mejoramiento del recorrido de recolección de residuos sólidos ordinarios será llevado a cabo en el área de mina sur. Adicional a esto, la prueba piloto a desarrollar consistente en la implementación de un nuevo plan de ruteo en el recorrido de recolección, se llevara a cabo en los 25 puntos de recolección en mina sur.

1.7.2 Limitaciones

- Limitación en la obtención de información, referente a costos y gastos. Debido a que si no se obtiene estos indicadores, no se podría hacer diagnóstico de la situación actual del proceso, y no se abordaría a fondo la problemática.
- La apropiación y la aceptación de nuevas estrategias y políticas, por parte de los usuarios y prestadores del servicio. En caso tal que se implementara un nuevo plan de ruteo, puede haber resistencia al cambio.
- Disponibilidad de uso de los compactadores. Si no se tiene el equipo disponible para el nuevo plan de ruteo.
- Disposición y cuidado, cuando se inicie la nueva ruta de recolección. Es importante realizar el proceso de manera cuidadosa, para no generar inconvenientes en vez de beneficios al proceso.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO LEGAL

Para el manejo de los residuos sólidos en Colombia, se establecieron una serie de normas de tipo jurídico, técnico, administrativo, financiero y ambiental, creándose un panorama amplio hacia el desarrollo de una política que facilite la Gestión Integral de los residuos sólidos dedicado específicamente a componentes de: separación en la fuente, recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y/o aprovechamiento y disposición final de los residuos.

La ejecución de éste proyecto en términos generales está regida el Decreto 1713 de 2002 por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.

2.2. ESTADO DEL ARTE

Xiaoyun Bing et al(2004) realizan una investigación basado en el problema de rutas de vehículos VRP, donde su principal indicador comparativo es la eco-eficiencia, es decir, pretende aplicar un método heurístico, que permita reducir las distancias recorridas, los costos de transporte, costo de combustible y costo de emisión. El estudio se llevó a cabo en una comunidad holandesa, específicamente en la comunidad de Wageningen, el proyecto consistió en aplicar un algoritmo de búsqueda tabú a distintos escenarios de recolección, el primer escenario (source-separation, drop-off collection for waste) que es el tipo de recolección que se realiza en esa comunidad, arrojo resultados positivos, mejorando la ruta y los costos asociados a la eco-eficiencia, así mismo aplicaron el algoritmo arrojando resultados positivo. Concluyendo que a travez de la implementación de un modelo heurístico se pueden reducir costos asociados a los problemas de ruteo de vehículos VRP.

It Kim et al. (2005) su investigación está basada en el problema de enrutamiento con múltiples ventanas de tiempo (VRPTW), en donde mediante la implementación de la heurística secuencial de Solomon, quieren reducir el número de vehículos, viajes, y demás problemas de enrutamiento

a la compañía Waste Management, Inc, la cual es el proveedor de servicios integral de residuos en América del Norte con cerca de 26.000 vehículos de recogida y transferencia.

Schultmann et al. (2006) plantean un modelo basado en el problema denominado symmetric capacited vehicle routing problem (SCVRP), con un depósito y un máximo tour de distancia. El objetivo es generar la asignación de un tour con mínimo costo, con n+1 nodos, con n puntos de desmantelamiento, un depósito y M tours. Utilizan técnicas heurísticas para solucionar el problema, alterando la función objetivo que minimiza la distancia, con la adición de parámetros que penalizan por exceder la máxima distancia y la máxima capacidad por tour. Resuelven el problema, implementando la búsqueda tabú y analizan los escenarios que varían la cantidad de puntos de desmantelamiento.

Salazar et al. (2007) en este trabajo se presenta un modelo para resolver el Problema de Recolección de Residuos Domiciliarios por Contenedores, aplican un concepto de secuencias parciales de recolección que deben son unidas para minimizar la distancia total de recolección. El problema de unir las secuencias parciales se representa como un TSP (*traveling salesmen problem*) el cual es resuelto mediante un algoritmo ACO (Ant Colony Optimization), aplicando el modelo a un sector de recolección de la comuna de San Pedro de la Paz, Chile, y obteniéndose rutas de recolección que reducen la distancia total recorrida respecto de la actual ruta. En la aplicación del modelo se da una reducción de distancia de viaje en un 16,2% con respecto al método de recolección que se utilizaba en ese entonces en la comunidad.

Li et al. (2008) mejora el algoritmo ACO, en EA (*Evolutionary Ant Algorithm)*.HK (*Held-Karp*) ACO es otro algoritmo mejorado de optimización con colonias de hormigas que emplea límites inferiores de Held-Karp para estimar la longitud de la ruta óptima. Esta medida, relativamente rápida y fácil de computar, resulta muy práctica a la hora de evaluar soluciones cercanas a la óptima en grandes problemas donde el verdadero óptimo es desconocido.

Para Cruz et al. (2009) la función objetivo está en función de los costos generados y del porcentaje de cobertura. Ellos formularon en México, un modelo para la recolección de vehículos al final de su vida útil. Plantean tres posibles escenarios, en donde se recolecta el 100%, 90% y 75% respectivamente, del total de vehículos generados. El objetivo es conocer el número de instalaciones requeridas, así como su ubicación, minimizando los costos asociados.

Los mismos puntos que generan vehículos, se convierten en potenciales puntos de localización de las instalaciones para la recolección. Como método de solución, utilizaron relajación langrangiana.

Zhao et al. (2010) propone el algoritmo MACO (*Mutated Ant Colony Optimization*), en el cual se añade únicamente el operador de mutación. Esta mutación es utilizada para modificar de forma aleatoria uno o más elementos de la mejor solución local después de cada iteración. Si la solución mutada es mejor que la solución original, la primera sustituye a la segunda. En caso contrario, la mejor solución local permanece inalterada. De esta forma se mejora el comportamiento de la búsqueda local, se expande la diversidad de soluciones y se evita la convergencia prematura. La mutación se aplica al algoritmo MMAS (*mutated MMAS o M-MMAS*) y al algoritmo ACS (*mutated ACSo M-ACS).*

Ferani E et al (2012) propuso un algoritmo hibrido, entre la optimización de colonia de hormigas (ACO) y el algoritmo genético (GA *algoritmo genético*) denominado (HACOGA), para resolver el CVRP con ventanas de tiempo y tiempos de viaje y demanda incierta. La solución inicial se realiza a través de un algoritmo de búsqueda local.

N. Mladenović, et al (2012) los autores resuelven el problema del agente viajero como un vehículo que sale del depósito y lleva un producto a los clientes y además puede hacer entrega y recogida del mismo, para ello usan diferentes heurísticas de intercambio como el k-opt y búsqueda en vecindario variable; las respuestas que se plantean están en función de la solución del problema usando instancias de 200, 500 y hasta 1000 clientes.

CAI Hong et al (2013) utilizó el algoritmo de colonia artificial de abejas (ABC, por sus siglas en Inglés) para resolver el CVRP (problema de enrutamiento de vehículos con capacidad limitada) en 2 dimensiones (elementos rectangulares y ponderados), para calcular el espacio de soluciones de las rutas, mientras se comprobaba la viabilidad de la carga de cada ruta, a través de tres heurísticas de carga: bottom-left fill (BLF), max touching perimeter (MTP), lowest reference line best-fit heuristic(LBFH).

Shan-Huen et a (2015) debido a que Taiwán es uno de los países más poblado en el mundo, y por tanto gran generador de residuos, el gobierno quiso optimizar el proceso de recolección de residuos, para minimizar los costos asociados a la operación. En este trabajo se investiga el problema de recolección de residuos, caracteriza el problema como un problema de enrutamiento de vehículos (VRP Vehicle Routing Problem), complicado por las limitaciones de tiempo entre llegadas. El estudio propone una formulación de optimización de dos niveles para modelar el VRP con múltiples viajes de entrega y determinar así la ruta de mínima distancia.

En el estudio compararon la ruta que actualmente se seguía en Taiwán y la ruta diseñada con el algoritmo ACO, (Ant Colony Optimization), el cual está inspirado en el comportamiento alimentario de algunas especies de hormigas. Adaptado en el VRP (Vehicle Routing Problem) multiviajes con recogida y entrega, compararon las rutas y confirmaron que el rendimiento y la reducción de costos son superiores cuando aplicaron a los problemas de ruta enrutamiento de vehículos el algoritmo ACO.

2.3. MARCO HISTÓRICO

El problema del agente viajero consiste en encontrar el recorrido más corto entre n ciudades, teniendo en cuenta que cada ciudad puede ser visitada solo una vez antes de llegar de nuevo al punto de partida.

Inicia en los años de 1800, por el matemático irlandés W. R. Hamilton y por el matemático británico Thomas Kirkman, a partir del juego Icosian de Hamilton el cual fue un juego donde se deseaba encontrar un ciclo hamiltoniano en las aristas de un grafo (1957).[1]

En los años 1932 fue considerado por parte de Karl Menger el problema del agente viajero como un algoritmo de fuerza bruta y la no optimalidad de la heurística de vecinos, menciona un problema que enfrentan los mensajeros postales y otros viajeros de encontrar para un número finito de puntos el camino más corto que los une, y diciendo que se puede resolver evaluando las

[1] Hamilton y Kirkman en Graph Theory 1736-1936

combinaciones de los distintos puntos y que empezar en el primer punto e ir al más cercano no garantiza el camino más corto.[2]

Durante los años 1950 a 1960, George Dantzig, Delbert Ray Fulkerson y Selmer expresaron el problema del agente viajero como un problema de programación lineal en enteros y desarrollaron para solucionarlo el método de planos cortantes. Con este nuevo método, resolvieron una instancia con 49 ciudades, óptimamente, mediante la construcción de un recorrido y probaron que no había un recorrido que pudiera ser más corto[3]

Miller, Tucker, Zemlin (1960) desarrollan el TSP múltiple o m-TSP en la cual se tiene un depósito y m vehículos, es decir m agentes viajeros. En el problema m-TSP a cada cliente se le asocia una demanda y cada vehículo cuenta con cierta capacidad, concluyendo que el problema del agente viajero da origen al problema de ruteo.

En 1972 Richard M. Karp, mostro que el Problema del Ciclo de Hamilton era un problema NP-completo, lo cual implica que el TSP sea un problema NP-duro lo que tiene su explicación matemática por la evidente dificultad computacional para encontrar recorridos óptimos.

Martin Groetschel (1977) encuentra el tour óptimo para 120 ciudades de Alemania.

A finales de los 70s y principios de los 80s, Padberg, Rinaldi y otros, manejaron soluciones exactas para instancias con 2392 ciudades, usando Planos Cortantes y Ramificación y Acotación[4].

Applegate, Bixby, Chvátal, y Cook (1998) desarrollaran el programa concorde, el cual es usado en muchos de los registros de soluciones recientes, encontraron un tour óptimo para 13,509 ciudades de EEUU con población mayor a 500.

En 2006, Cook y otros, obtuvieron un recorrido óptimo para 85,900 ciudades dado por un problema de diseño de microchip, el TSPLIB es la instancia más larga resuelta, la solución puede ser encontrada garantizando que la solución contiene un 2-3% del recorrido.

---

[2] En 1932 Karl Menger"Das botenproblem" ErgebnisseeinesMathematischenKolloquiums2 pp.11-12

[3] DatnzingFulkersony Johnson publican "Solutionof a large-scaletraveling-salesman problem" OperationsResearch2, pp. 393-410

[4] Padberg & Rinaldi, "Optimization of 532 symmetric traveling salesman problem by Branch & Bound", OR Letters(6), pp. 1-7 (1987)

2.4 MARCO TEÓRICO

Recolección:

Es la acción y efecto de recoger y retirar los residuos sólidos de uno o varios generadores efectuada por la persona prestadora del servicio.[5]

Transporte:

Consiste en el traslado de los residuos desde los distintos puntos de producción hasta el lugar donde se dispondrán, para aumentar la eficiencia del transporte de los residuos se debe programar la ruta que debe seguir el vehículo destinado a la recolección fin. [6]

Residuo sólido:

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador entrega y es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final.[7]

Problema de ruteo de vehículos (VRP):

Consiste en determinar un conjunto de rutas al costo mínimo, de tiempo y distancia, que comience y terminen en el conjunto de clientes y depósitos que están dispersos geográficamente, para que los vehículos visiten a los clientes máximo una vez.

Del problema se desglosan distintas variantes:

Problema del agente viajero (TSP):

A partir del TSP (*Travelling Salesman Problem)* se formulan y se generan otros problemas combinatorios más complejos. En el TSP se dispone de un solo vehículo que debe visitar a todos los clientes en una sola ruta y a costo mínimo. No suele haber un depósito (y si lo hubiera, no se

[5] Decreto 1713 de 2002. Reglamenta la Prestación del servicio de aseo público.
[6] Decreto 1713 de 2002. Reglamenta la Prestación del servicio de aseo público.
[7] Decreto 1713 de 2002. Reglamenta la Prestación del servicio de aseo público.

distinguiría de los clientes), no hay demanda asociada a los clientes y tampoco hay restricciones temporales.

Problema de m agentes viajeros (m-TSP):

Es una generalización del TSP en la cual se tienen un depósito y m vehículos o agentes. El objetivo es construir exactamente m rutas, una para cada vehículo o agente, de modo que cada cliente sea visitado una vez por uno de los vehículos o agentes.

Problema de ruteo de vehículos con la misma capacidad (CVRP)

El CVRP consiste en encontrar una colección de exactamente K ciclos, cada uno de ellos que corresponde a una ruta de un vehículo, con mínimo costo. Se define el costo total como la suma de los costos de los arcos que pertenecen al ciclo y tal que

- Cada ciclo visita el depósito,
- Cada cliente es visitado exactamente por un ciclo, y
- La suma de las demandas de los vértices de un ciclo no exceda la capacidad del vehículo Q.

Problema de ruteo de vehículos flota heterogénea (VRPFH):

En él los costos y capacidades de los vehículos varían, la cantidad de vehículos de cada tipo es ilimitada, se decide sobre las rutas y la composición de la flota de vehículos a utilizar.[8]

Problema de ruteo de vehículos periódico (PVRP):

En el caso del VRP periódico (PVRP) el modelo se extiende a un período de planeación de *M* días, Las rutas deben diseñarse sobre múltiples días o periodos, esto es, en un horizonte de planeación. Cada cliente requiere n visitas durante el horizonte de planeación distribuidas en posibles calendarios factibles para cada cliente.

Problema de Ruteo de Vehículos Múltiples Viajes (Multi-Trip VRP):

[8] Alfredo Olivera, "Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos", reporte de investigación, Instituto de Computación – Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, 2004, disponible en http://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf

Consiste en que cada vehículo puede llevar a cabo varias rutas en el mismo periodo de planeación. Un MDVRP requiere de la asignación de clientes a depósitos, de la asignación de una flota de vehículos a cada depósito, cada vehículo origina desde un depósito, un servicio al cliente asignado a ese depósito, y el retorno al mismo depósito.[9]

Problema de Ruteo de Vehículos Múltiples Capacidades (MCVRP):

Se basa en transportar más de una cantidad de objetos a la vez, es decir, si el CVRP Capacited Vehicle Routing Problem (Problema de Ruteo de Vehículos Capacitado) se puede considerar como VRP con capacidad 1 y el MCVRP se considera como capacidad mayor a 1.[10]

Algoritmos constructivos. Construyen gradualmente una solución factible para el problema intentando optimizar la función objetivo, pero no incluyen ninguna fase de mejora de la solución encontrada.

Algoritmos de dos fases. Descomponen de forma natural el problema en dos etapas, una de agrupación de vértices y otra de construcción de rutas.

Algoritmos de mejora. Parten de una solución factible inicial y tratan de mejorarla realizando intercambios de arcos o vértices dentro de cada ruta o entre varias rutas.

Búsqueda tabú (BT)

La búsqueda tabú es una técnica iterativa de búsqueda local inteligente que trata de evitar que las soluciones caigan en óptimos locales. Para esto se utilizan unas estructuras de memoria de corto y largo plazo, acompañadas de criterios de aspiración.

En esta técnica en una iteración se pretende pasar de una solución a la mejor solución vecina, sin importar si esta es mejor o peor que la solución actual. El criterio de terminación puede ser un cierto número máximo de iteraciones o un valor de la función por optimizar. El objetivo más general de la lista tabú es continuar estimulando el descubrimiento de soluciones de alta calidad. Otra característica de la BT son los criterios de aspiración que se introducen para determinar

[9] D.J. Guan y Xuding Zhu, "Multiple capacity vehicle routing on paths", Siam J.Discrete math, Vol. 11, No. 4, 1998, pp 590-602.
[10] Bruce Golden, S. Raghavan y Edward Wasil, "The vehicle routing problem: latest advances and new challenges". Springer, New York, 2008, pp 3-122

cuándo pueden ser reemplazadas las restricciones tabú, eliminando así una clasificación tabú aplicada a un movimiento en otro caso (Glover y Melian, 2003).

3. DESARROLLO METODOLÓGICO DEL PROYECTO

3.1 DIAGNOSTICO

3.1.1 frecuencia y ruta de recolección

Este diagnóstico se realiza con base en la información del proceso productivo de recolección, la cual registra, la capacidad de los compactadores, los puntos de recolección del área de minas, los usuarios de cada punto, y la cantidad de residuos, la frecuencia y la ruta actual de recolección.

A continuación se encuentra la tabla de los datos de las capacidades de carga de los compactadores.

Compactadores	Sitio de recolecciòn	Capacidad de carga (m3)	Densidad real (Kg/m3)
76-129	Mina Norte	12,23	206,01
76-144	Mina Sur	12,23	215,82

Tabla 1: Capacidad de carga vehículos

Mina	Frecuencia
Norte	Lunes-Miercoles-Viernes
Sur	Martes-Jueves-Sabados

Tabla 2: Frecuencia de recolección

Ruta actual de recolección en mina sur

RUTA MINA SUR (MARTES-JUEVES-SABADOS)		
Localización A	Localización B	# Localizaciones
Isla portail 1	Manguitos 2	1
Manguitos 2	CAE 4 oreganal	2
CAE 4 oreganal	Voladura sur (playa alta)	3
Voladura sur (playa alta)	Línia k5	4
Línia k5	Isla portatil 6	5
Isla portatil 6	Administrativos del Sur.	6
Administrativos del Sur.	Taller 170.	7
Taller 170.	Isla Portatil 2	8
Isla Portatil 2	línea 15	9
línea 15	Linea Sup. Oreganal	10
Linea Sup. Oreganal	Linea Oreganal 2.	11
Linea Oreganal 2.	Linea Marquezote 1 y 2	12
Linea Marquezote 1 y 2	Isla Portatil 8.	13
Isla Portatil 8.	Linea Oreganal 1.	14
Linea Oreganal 1.	Garita P9	15
Garita P9	Cambiadero Patilla	16
Cambiadero Patilla	CAE Patilla	17
CAE Patilla	Línea Sup. Patilla	18
Línea Sup. Patilla	Cambiadero Oreganal.	19
Cambiadero Oreganal.	línea 11	20
línea 11	Línia 7	21
Línia 7	Línia 8	22
Línia 8	Isla portatil 4	23
Isla portatil 4	Linea comuneros 1 y 2	24
Linea comuneros 1 y 2	Isla portatil 1	25

Tabla3. Ruta actual de recolección en Mina sur

En las anteriores tablas se muestra, la frecuencia con que se realiza la recolección de residuos sólidos en área de mina norte y mina sur, y la ruta actual que se sigue en mina sur, donde se desarrollará el cambio de ruteo mediante solver.

En el plan de ruteo de mina sur, el compactador sale de los patios de Aseocolba, donde se encuentran ubicados regularmente, pero es isla portátil el punto de partida e inicio del proceso de recolección de residuos, hasta su finalización en línea comuneros 1 y 2.

3.1.2 Caracterización puntos. Mina sur

La siguiente tabla muestra los puntos de recolección en Mina Sur, la cantidad de usuarios por puntos, y la cantidad de residuos generados en kilogramos por días

ÁREA	USUARIOS	KG/DÍA
ISLA PORTATIL 1	43	16
LINEA VOLADURA SUR (PLAYA ALTA)	65	24
LIENA K5	45	17
ISLA PORTATIL 6	39	15
ISLA PORTATIL 2	52	20
LINEA SUPERVISORES OREGANAL	21	8
CAE 4 OREGANAL	19	7
LINEA OREGANAL (CONTAINER 2)	67	25
LINEA MARQUEZOTE 1 Y 2	131	49
ISLA PORTATIL 8	70	26
LINEA OREGANAL 1	25	9
LINEA COMUNEROS 1 Y 2	81	30
ADMINISTRATIVO SUR	92	35
TALLERES OREGANAL 170	161	60
LINEA 15 (CARBONERA)	22	8
GARITA P 9	18	7
LINEA 11	31	12
LINEA 7 Y 8	103	39
ISLA PORTATIL 4	69	26
CAE 3	6	2
LINEA SUPERVISORES PATILLA	10	4
MANGUITOS 2	12	5
CAMBIADERO OREGANAL	286	107
CAMBIADERO PATILLA	171	64
TOTAL	1639	616

Tabla 4. Promedio de residuos generados en kilogramos, Mina Sur

3.1.3 Numero de canecas y capacidad. Mina sur

Las canecas utilizadas para el proceso de recolección tienen una capacidad de 55 galones, se determinó la capacidad del punto de recolección, dependiendo del número de canecas en cada punto por la capacidad de una caneca en litros.

ÁREA	N° DE CANECAS	CAPC. DE CANECAS (LITROS)	CAPC TOTAL DE CANECAS EN (LITROS)
ISLA PORTATIL 1	2	208,20	416,40
LINEA VOLADURA SUR (PLAYA ALTA)	5	208,20	1040,99
LIENA K5	2	208,20	416,40
ISLA PORTATIL 6	2	208,20	416,40
ISLA PORTATIL 2	2	208,20	416,40
LINEA SUPERVISORES OREGANAL	1	208,20	208,20
CAE 4 OREGANAL	1	208,20	208,20
LINEA OREGANAL 2 K27	2	208,20	416,40
LINEA MARQUEZOTE 1 Y 2	6	208,20	1249,19
ISLA PORTATIL 8	2	208,20	416,40
LINEA OREGANAL 1	1	208,20	208,20
LINEA COMUNEROS 1 y 2	4	208,20	832,79
ADMINISTRATIVO SUR	2	208,20	416,40
TALLERES OREGANAL 170	8	208,20	1665,58
LINEA 15 (CARBONERA)	2	208,20	416,40
GARITA P 9	3	208,20	624,59
LINEA 11	2	208,20	416,40
LINEA 7 Y 8	5	208,20	1040,99
ISLA PORTATIL 4	2	208,20	416,40
CAE 3	1	208,20	208,20
LINEA SUPERVISORES PATILLA	1	208,20	208,20
MANGUITOS 2	1	208,20	208,20
CAMBIADERO OREGANAL	11	208,20	2290,17
CAMBIADERO PATILLA	11	208,20	2290,17
TOTAL	79	4996,74	16447,61

Tabla 5. Capacidad instalada de canecas por puntos de recolección, Mina Sur

3.1.4 Caracterización de puntos. Mina norte

La siguiente tabla muestra los puntos de recolección en Mina Norte, la cantidad de usuarios por puntos, y la cantidad de residuos generados en kilogramos por día.

AREA MINA NORTE	USUARIOS	KG/DIA
CAMBIADERO LA PUENTE	322	121
CAMBIADERO TABACO	584	219
CAMPO DE ENTRENAMIENTO (AREA DE ENTRENAMIENTO)	100	38
HERRAMENTERIA DE PALAS NORTE	100	38
ISLA PORTATIL 3	67	25
ISLA PORTATIL 5 (SOLO BAÑO DE DAMAS)	90	34
ISLA PORTATIL 7	124	47
ISLA PORTATIL 9	53	20
LAVADERO E. LIVIANO NORTE	25	9
LINEA 12 (BOMBAS Y TUBOS)	75	28
LINEA 14	113	42
LINEA 26 (CAJERO)	73	27
LINEA 3	96	36
LINEA 4 Y 10 (CONTAINER TECNICOS)	42	16
LINEA 6	110	41
LINEA 9	75	28
LÍNEA NAM 2. LINEA SUPV COTORRA	132	50
LINEA NAM 5 (COTORRA VIEJA)	61	23
LINEA VOLADURA 2	56	21
MANGUITOS SAMAN (CAE 2. MANGUITOS. LINEA SUP. MANGUITOS, MANGUITO. CONTAINER DE GEOLOGIA, MANGUITO. ESTACIÓN DE RESIDUOS, MANGUITOS.	235	88
MIRADOR FONSECA	10	4
MIRADOR GOTA FRIA	10	4
MIRADOR URIEL	10	4
NAM 1	157	59
OFICINAS PI NORTE	35	13
PATIO ENSAMBLE DE PALAS LIEBHER	40	15
CAMBIO EN CALIENTE LA ESTRELLA LA ESTRELLA	6	2
CAMBIO EN CALIENTE LA ESTRELLA LA ESTRELLA	1	0,4
TOTAL	**2802**	**1052**

Tabla 6. Promedio de residuos generados en kilogramos, Mina Norte

3.1.5 Numero de canecas y capacidad. Mina norte

AREA	N° DE CANECAS CAPAC INSTALADA	CAPC. DE CANECAS (LITROS)	CAPC TOTAL DE CANECAS
CAMBIADERO LA PUENTE	8	208,20	1666
CAMBIADERO TABACO	11	208,20	2290
CAMBIO EN CALIENTE DE PH 25	2	208,20	416
CAMBIO EN CALIENTE EL PUEBLO	2	208,20	416
CAMBIO EN CALIENTE GIBON	2	208,20	416
CAMBIO EN CALIENTE NAM 1	2	208,20	416
CAMPO DE ENTRENAMIENTO (AREA DE ENTRENAMIENTO)	3	208,20	625
HERRAMENTERIA DE PALAS NORTE	4	208,20	833
ISLA PORTATIL 3	7	208,20	1457
ISLA PORTATIL 5 (SOLO BAÑO DE DAMAS)	1	208,20	208
ISLA PORTATIL 7	2	208,20	416
ISLA PORTATIL 9	2	208,20	416
LAVADERO E. LIVIANO NORTE	2	208,20	416
LINEA 12 (BOMBAS Y TUBOS)	2	208,20	416
LINEA 14	3	208,20	625
LINEA 26 (CAJERO)	2	208,20	416
LINEA 3	3	208,20	625
LINEA 4 Y 10 (CONTAINER TECNICOS)	6	208,20	1249
LINEA 6	3	208,20	625
LINEA 9	2	208,20	416
LÍNEA NAM 2. LINEA SUPV COTORRA	6	208,20	1249
LINEA NAM 5 (COTORRA VIEJA)	1	208,20	208
LINEA VOLADURA 2	5	208,20	1041
MANGUITOS SAMAN (CAE 2. MANGUITOS. LINEA SUP. MANGUITOS, MANGUITO. CONTAINER DE GEOLOGIA, MANGUITO. ESTACIÓN DE RESIDUOS, MANGUITOS.	13	208,20	2706,57
MIRADOR FONSECA	2	208,20	416,40
MIRADOR GOTA FRIA	2	208,20	416,40
MIRADOR URIEL	2	208,20	416,40
NAM 1	3	208,20	624,59
OFICINAS PI NORTE	2	208,20	416,40
PATIO ENSAMBLE DE PALAS LIEBHER	4	208,20	832,79
CAMBIO EN CALIENTE LA ESTRELLA LA ESTRELLA	2	208,20	416,40
TOTAL	**111**	**6454,13**	**23109,94**

Tabla 7. Capacidad instalada de canecas por puntos de recolección, Mina Sur

3.1.6 Disponibilidad de los equipos compactadores

Para el proceso de recolección de residuos sólidos, la compañía cuenta con 4 camiones compactadores de basuras, dos para back up en caso que los dos principales fallen, y dos que son utilizados para cubrir la ruta en mina sur y mina norte, las siguientes graficas muestran mensualmente el porcentaje de disponibilidad (ocupación) de los equipos y el tiempo que permanecen Down.

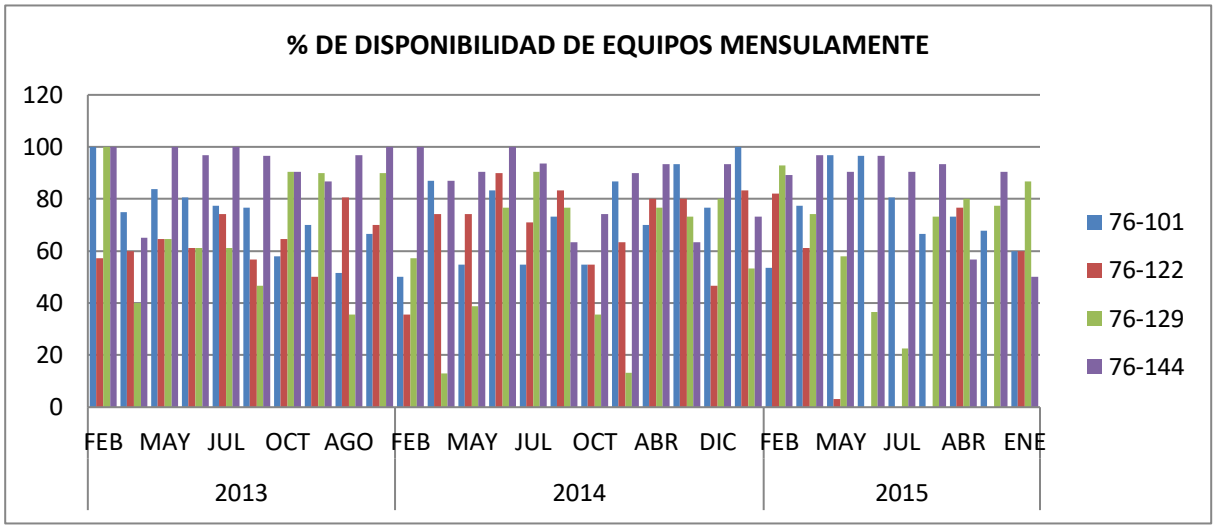


Grafico 1. Porcentaje disponibilidad de los equipos por mes

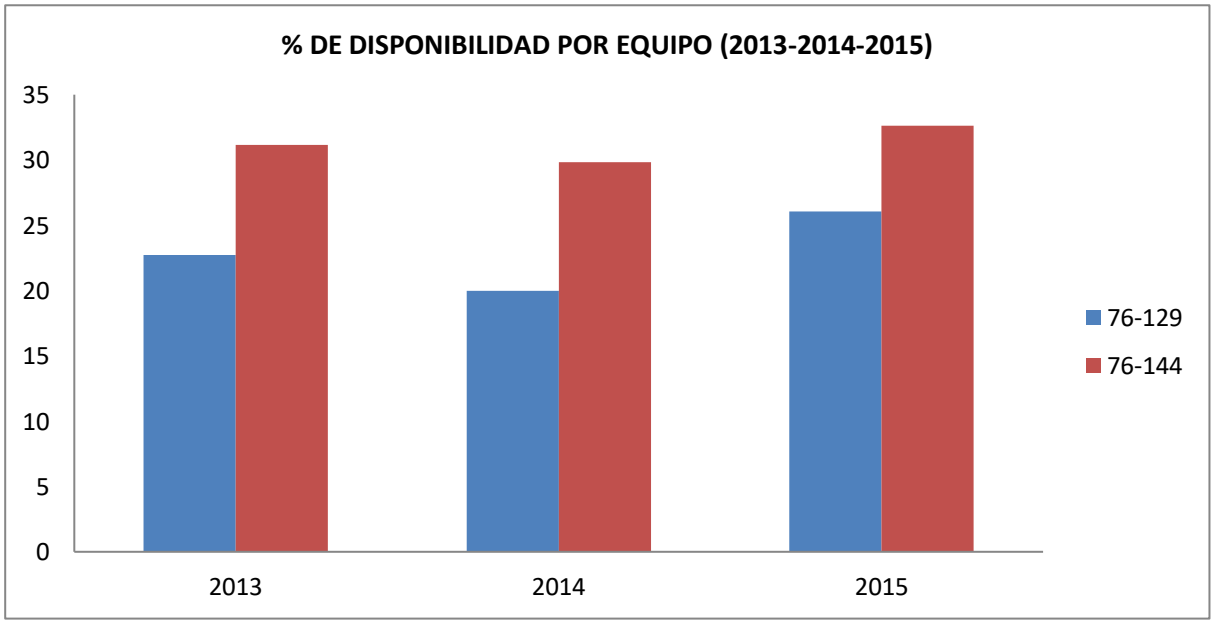


Grafico 2. Porcentaje de disponibilidad de los equipos por año

De acuerdo con las gráficas se puede diagnosticar que los equipos compactadores 76-144 y 76-129, son los que tienen una mayor disponibilidad ene le proceso de recolección de residuos sólidos, en el área de minas, y el equipo compactador 76-144 el más disponible, adicional a esto

Costos asociados al proceso de recolección

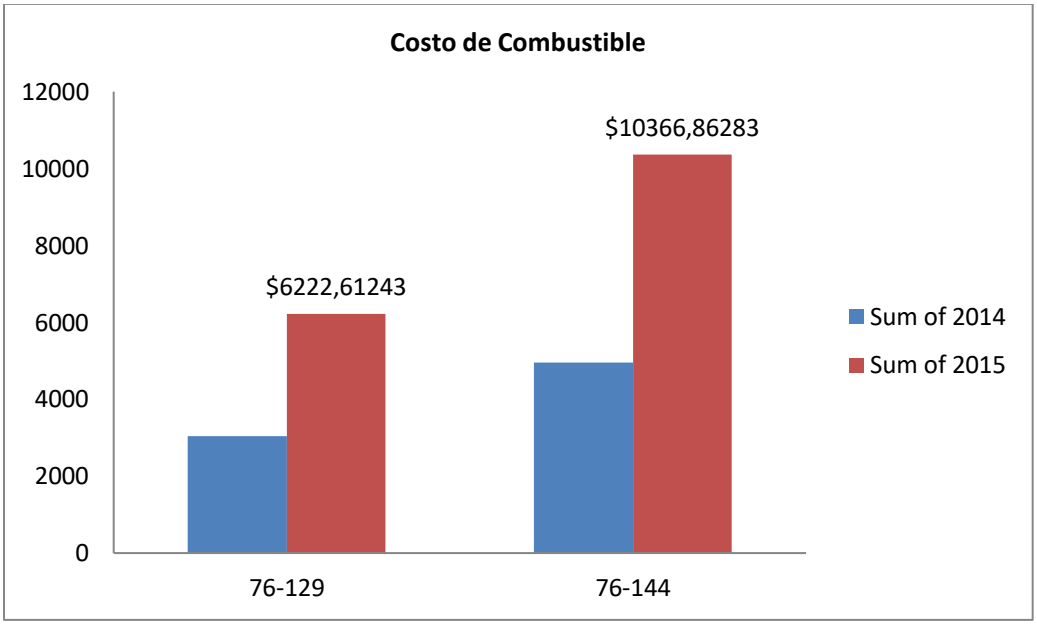


Grafico 3. Costo de combustible de compactadores 2014 vs 2015

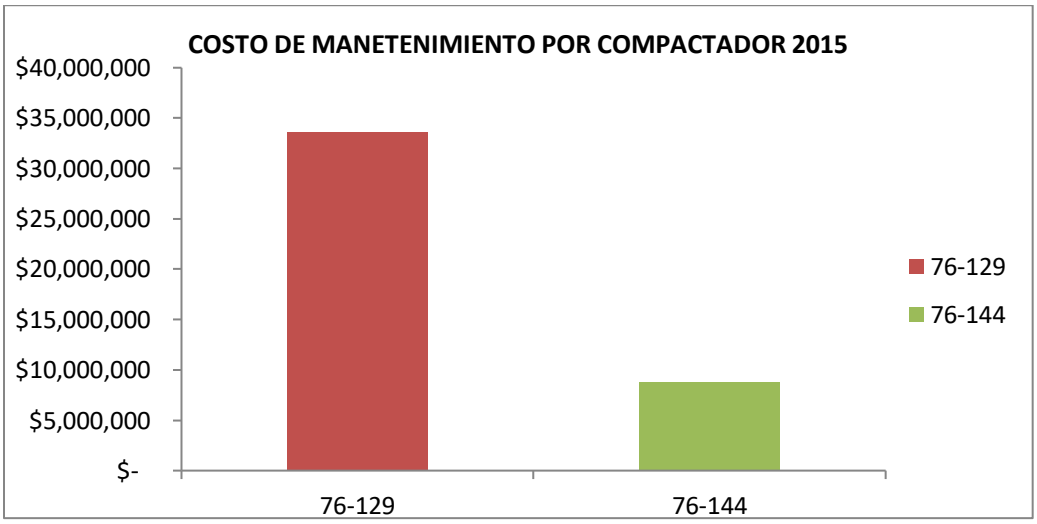


Grafico 4. Costo de mantenimiento de equipos compactadores 2015

En las gráficas anteriores se presentan los costos asociados al proceso de recolección de residuos, costos de mantenimiento y combustible, siendo estos los costos que se desean minimizar al optimizar el proceso mediante la implementación de una nueva ruta de recolección, ya que permitirá disminuir distancia y tiempo, que son indicadores que suman o restan al costo de combustible y mantenimiento.

Adicional a las gráficas se puede analizar que el costo de mantenimiento es el mayor generador de gastos a la operación de recolección de residuos sólidos.

Es importante resaltar que el equipo compactador 76-144 a pesar de ser el más activo y disponible, es el equipo cuyo costo es de menor mantenimiento debido a que es más nuevo que el equipo 76-109, sin embargo por ser el más disponible, consume mayor combustible, y en un futuro podría aumentar su costo de mantenimiento.

3.2 SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

El objetivo de esta investigación es generar un modelo matemático que permita encontrar soluciones óptimas al problema de la gestión logística de transporte de residuos sólidos ordinarios de la empresa Carbones del Cerrejón Ltda. A partir del modelo del agente viajero en Solver (Excel), y algoritmos matemáticos se quiere encontrar una solución óptima, es decir, se determinar una ruta con una reducción en tiempo y distancia del proceso de recolección de residuos sólidos en el área de Mina Sur de la empresa.

3.3 MODELACIÓN MATEMÁTICA

El problema del agente viajero es clasificado como un problema de optimización combinatoria donde existe un conjunto de n ciudades y el costo de viajar a cada una de ellas tratando de encontrar el camino que minimice el costo de pasar por todas las ciudades n y regresando a la ciudad de partida.

El problema del agente viajero está definido así: sea una red $\boldsymbol{G} = [\boldsymbol{N}, \boldsymbol{A}, \boldsymbol{C}]$ que está definida por un conjunto de $\boldsymbol{N}$ nodos, $\boldsymbol{A}$, el conjunto de arcos, y $\boldsymbol{D} = [\boldsymbol{d_{ij}}]$ la matriz de costos o distancias. Eso es, $\boldsymbol{c_{ij}}$ el costo o distancia de moverse desde el nodo $\boldsymbol{i}$, al nodo $\boldsymbol{j}$.

TSP ***(traveling Salesman problem***) requiere de un ciclo Hamiltoniano en G de mínimo costos (un ciclo Hamiltoniano es uno que pasa a través de cada nodo i de N exactamente una vez). El modelo matemático se puede expresar así

Min

$$\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n} C_{ij}X_{ij}$$

Sujeto a:

Para garantizar que se llega a cada ciudad exactamente una vez

$$\sum_{i=0,i\neq j}^{n} X_{ij,} = 1 \qquad (1)$$
$$j = 1,2,3 \ldots \ldots, n+1$$

Para garantizar que sale de cada ciudad exactamente una vez

$$\sum_{j=1,j\neq 1}^{n+1} X_{ij} = 1$$
$$i = 0,1, \ldots \ldots, n$$

Sin embargo, estas restricciones no bastan para garantizar que se está optimizando sobre recorridos, es decir, que las soluciones factibles son sólo recorridos. Esto es, porque permiten la existencia de subrecorridos. Para restringir sólo a recorridos, hay que añadir restricciones adicionales. Una forma de hacerlo es que en cada recorrido para cada subconjunto de índices de $N = 0,1, \ldots . . n$; debe haber un arco que vaya a su complemento y otro que venga.

En general, para cualquier $L \subseteq N\ con\ 2 \leq |L| \leq n-1$ (los de tamaño 1 ya están) las restricciones son satisfechas por todo tour pero todo subtour viola al menos una de ellas.

$$\sum_{(i,j)|i\in L, j\in N\setminus L} X_{ij} \geq 1$$

Dónde:

$\boldsymbol{C_{ij}}$= Distancia de ir del lugar *i* al lugar *j*.

$\boldsymbol{X_{ij}}$ = variable de decisión

$$\boldsymbol{X_{ij}} \begin{cases} 1, si\ se\ visita\ a\ la\ ciudad\ j\ despues\ de\ visitar\ la\ ciudad\ i. \\ 0, si\ no\ se\ visita\ la\ ciudad\ j\ despues\ de\ visitar\ la\ ciudad\ i. \end{cases}$$

3.4 IMPLEMENTACIÓN EN SOLVER

3.4.1 Funcionamiento del algoritmo genéticos en solver

El Software de Solver utiliza un sistema de algoritmos genéticos exclusivo para buscar la solución óptima a un problema, así como distribuciones de probabilidad y simulaciones para gestionar la incertidumbre presente en el modelo. Los algoritmos genéticos se usan en solver para encontrar la mejor solución para su modelo. Los algoritmos genéticos imitan los principios darwinianos de selección natural mediante la creación de un entorno en el que cientos de posibles soluciones a un problema compiten unas con otras, y sólo la “mejor adaptada” sobrevive. Como sucede en la evolución biológica, cada solución puede transmitir sus mejores “genes” a través de soluciones “descendientes” de forma que toda la población de soluciones sigue evolucionando en soluciones mejores. Se habla de que las funciones de “cruce” ayudan a concentrar la búsqueda de soluciones, de que la tasa de las “mutaciones” contribuye a diversificar la “reserva genética” y de que se evalúa toda la “población” de soluciones u “organismos”.

Un algoritmo genético consiste en una función matemática o una rutina de software que toma como entradas a los ejemplares y retorna como salidas cuáles de ellos deben generar descendencia para la nueva generación.

Para usar los algoritmos genéticos se deben tenerse en cuenta también las siguientes consideraciones:

- Si la función a optimizar tiene muchos máximos/mínimos locales se requerirán más iteraciones del algoritmo para "asegurar" el máximo/mínimo global.
- Si la función a optimizar contiene varios puntos muy cercanos en valor al óptimo, solamente podemos "asegurar" que encontraremos uno de ellos (no necesariamente el óptimo).

A continuación se muestran los pasos que se siguen para generar la nueva ruta de recolección mediante solver.

1. **Determinar matriz de distancia, punto de partida**

Para la recolección de residuos sólidos ordinarios, el compactador 76-144, sale de los patios de Aseocolba, pero es en isla portátil donde se inicia la recolección pues el punto donde se verifica la programación de ruteo. La matriz de distancias tabla8 está en unidades de Kilómetros, y se pudo determinar mediante la aplicación VDO de la empresa, empezando con el punto de partida isla portátil 1 hasta los distintos puntos de recolección, para un total de 25 puntos de recolección en mina sur.

#	AREA	BASE DE DATOS	Isla portail 1	Administrativos del Su	CAE 4. Oreganal	CAE Patilla	Cambiadero Oreganal	Cambiadero Patilla	Garita P9	Isla Portatil 2	Isla portatil 4	Isla portatil 6	Isla Portatil 8.	Línea 11	Línea 15	Línea 7	Línea 8	Línea comuneros 1 Y	Línea k5	Línea Marquezote	Línea Oreganal 1	Línea oreganal 2	Línea Sup. Oreganal	Línea Sup. Patilla	Manguitos 2	Talleres 170	dura sur (playa alta)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
			MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
1	MS	Isla portail 1	0.0	6.9	5.9	1.8	2.0	2.0	2.2	7.8	3.6	6.9	10.0	4.2	8.6	4.7	4.7	7.2	4.3	10.0	6.7	6.7	5.9	1.7	2.3	6.6	4.2
2	MS	Administrativos del Sur.	6.9	0.0	2.8	5.3	5.1	5.1	52.4	1.5	8.0	33.2	6.7	8.6	2.3	9.2	9.2	33.4	2.7	6.7	9.0	3.4	2.8	5.4	9.2	0.3	27.4
3	MS	CAE 4. Oreganal	5.9	2.8	0.0	4.0	3.9	3.8	4.2	1.3	6.7	5.5	3.7	7.4	1.3	7.7	7.7	5.7	4.9	3.7	5.3	40.6	0.0	3.9	8.2	2.5	4.9
4	MS	CAE Patilla	1.8	5.3	4.0	0.0	0.2	0.2	0.4	6.1	2.7	5.3	8.4	3.3	6.9	3.9	3.9	5.5	2.6	8.4	10.5	5.1	4.1	0.1	4.1	4.9	2.6
5	MS	Cambiadero Oreganal	2.0	5.1	3.9	0.2	0.0	0.0	0.2	3.9	2.9	7.0	8.6	3.6	4.7	4.1	4.1	5.3	2.4	8.6	26.1	5.3	3.9	0.3	4.4	4.8	2.4
6	MS	Cambiadero Patilla	2.0	5.1	3.8	0.2	0.0	0.0	0.2	6.0	2.9	5.1	8.6	3.5	6.8	4.1	4.1	5.3	2.4	8.6	28.9	5.3	3.9	0.3	4.3	4.8	2.4
7	MS	Garita P9	2.2	52.4	4.2	0.4	0.2	0.2	0.0	6.1	3.0	5.3	8.8	3.7	6.9	4.2	4.2	5.5	2.6	8.7	5.4	5.4	4.2	0.5	4.5	4.9	2.5
8	MS	Isla Portatil 2	7.8	1.5	1.3	6.1	3.9	6.0	6.1	0.0	8.8	4.2	5.3	9.5	0.8	10.1	10.0	4.4	3.5	5.2	1.9	1.9	1.3	6.3	10.1	1.2	3.6
9	MS	Isla portatil 4	3.6	8.0	6.7	2.7	2.9	2.9	3.0	8.8	0.0	8.0	10.9	0.7	9.6	0.9	0.9	8.2	5.3	10.8	7.5	7.5	6.7	2.6	5.9	7.7	5.2
10	MS	Isla portatil 6	6.9	33.2	5.5	5.3	7.0	5.1	5.3	4.2	8.0	0.0	13.7	8.7	5.0	9.2	9.2	0.2	2.7	13.7	10.4	10.4	5.5	5.4	9.2	3.0	2.8
11	MS	Isla Portatil 8.	10.0	6.7	3.7	8.4	8.6	8.6	8.8	5.3	10.9	13.7	0.0	11.5	4.8	12.0	12.0	9.7	8.8	0.3	3.2	3.4	3.4	8.3	12.3	6.4	8.9
12	MS	línea 11	4.2	8.6	7.4	3.3	3.6	3.5	3.7	9.5	0.7	8.7	11.5	0.0	10.3	0.5	0.5	8.9	6.0	11.5	8.2	8.2	7.4	3.2	6.5	8.3	5.9
13	MS	línea 15	8.6	2.3	1.3	6.9	4.7	6.8	6.9	0.8	9.6	5.0	4.8	10.3	0.0	10.9	10.8	5.2	4.3	4.8	1.5	1.5	1.3	7.1	10.9	2.0	4.4
14	MS	Línea 7	4.7	9.2	7.7	3.9	4.1	4.1	4.2	10.1	0.9	9.2	12.0	0.5	10.9	0.0	0.0	9.4	6.5	12.0	8.7	8.7	7.7	3.7	7.0	8.9	6.4
15	MS	Línea 8	4.7	9.2	7.7	3.9	4.1	4.1	4.2	10.0	0.9	9.2	12.0	0.5	10.8	0.0	0.0	9.4	6.5	12.0	8.7	8.7	7.7	3.7	7.0	8.9	6.4
16	MS	Línea comuneros 1 y 2	7.2	33.4	5.7	5.5	5.3	5.3	5.5	4.4	8.2	0.2	9.7	8.9	5.2	9.4	9.4	0.0	2.9	9.6	6.3	6.3	5.7	5.6	9.5	3.2	3.0
17	MS	Línea k5	4.3	2.7	4.9	2.6	2.4	2.4	2.6	3.5	5.3	2.7	8.8	6.0	4.3	6.5	6.5	2.9	0.0	8.7	5.4	5.4	4.9	2.7	6.6	2.4	0.1
18	MS	Línea Marquezote 1 y 2	10.0	6.7	3.7	8.4	8.6	8.6	8.7	5.2	10.8	13.7	0.3	11.5	4.8	12.0	12.0	9.6	8.7	0.0	3.1	3.3	3.7	8.3	12.3	6.4	8.8
19	MS	Línea Oreganal 1	6.7	9.0	5.3	10.5	26.1	28.9	5.4	1.9	7.5	10.4	3.2	8.2	1.5	8.7	8.7	6.3	5.4	3.1	0.0	5.6	0.4	5.0	9.0	3.1	5.5
20	MS	Línea Oreganal 2	6.7	3.4	40.6	5.1	5.3	5.3	5.4	1.9	7.5	10.4	3.4	8.2	1.5	8.7	8.7	6.3	5.4	3.3	5.6	0.0	0.4	5.0	9.0	3.1	5.5
21	MS	Línea Sup. Oreganal	5.9	2.8	0.0	4.1	3.9	3.9	4.2	1.3	6.7	5.5	3.4	7.4	1.3	7.7	7.7	5.7	4.9	3.7	0.4	0.4	0.0	4.0	8.2	2.5	4.9
22	MS	Línea Sup. Patilla	1.7	5.4	3.9	0.1	0.3	0.3	0.5	6.3	2.6	5.4	8.3	3.2	7.1	3.7	3.7	5.6	2.7	8.3	5.0	5.0	4.0	0.0	4.0	5.1	2.7
23	MS	Manguitos 2	2.3	9.2	8.2	4.1	4.4	4.3	4.5	10.1	5.9	9.2	12.3	6.5	10.9	7.0	7.0	9.5	6.6	12.3	9.0	9.0	8.2	4.0	0.0	8.9	6.5
24	MS	Talleres Oreganal	6.6	0.3	2.5	4.9	4.8	4.8	4.9	1.2	7.7	3.0	6.4	8.3	2.0	8.9	8.9	3.2	2.4	6.4	3.1	3.1	2.5	5.1	8.9	0.0	2.4
25	MS	Voladura sur (playa alta) 1	4.2	27.4	4.9	2.6	2.4	2.4	2.5	3.6	5.2	2.8	8.9	5.9	4.4	6.4	6.4	3.0	0.1	8.8	5.5	5.5	4.9	2.7	6.5	2.4	0.0

Tabla 8. Matriz de distancias, puntos de recolección en mina sur

2. Variables del problema

El objetivo de esta implementación es la de reducir al más mínimo costo las distancia total recorrida entre los 25 puntos de recolección de Mina Sur en Carbones Del Cerrejón, determinar el orden de los puntos a visitar.

Las variables son la disposición de puntos a visitar, estas son las celdas, F35:F59, este conjunto de 25 variables son colectivamente sujetos a las restricción AllDifferent, como resultado cada 1 de las 25 variables de decisión se le asignara un numero entero entre 1 a 25, donde ninguna de las variables en este conjunto puede tomar su mismo valor.

=INDEX($E$6:$E$30,$F37,1)

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
			MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
#	AREA	BASE DE DATOS	Isla portail 1	Administrativos del Sur	CAE 4. Oreganal	CAE Patilla	Cambiadero Oreganal	Cambiadero Patilla	Garito P9	Isla Portail 2	Isla portail 4	Isla portail 6	Isla Portail 8.
1	MS	Isla portail 1	0.0	6.9	5.9	1.8	2.0	2.0	2.2	7.8	3.6	6.9	10.0
2	MS	Administrativos del Sur	6.9	0.0	2.8	5.3	5.1	5.1	52.4	1.5	8.0	33.2	6.7
3	MS	CAE 4. Oreganal	5.9	2.8	0.0	4.0	3.9	3.8	4.2	1.3	6.7	5.5	3.7
4	MS	CAE Patilla	1.8	5.3	4.0	0.0	0.2	0.2	0.4	6.1	2.7	5.3	8.4
5	MS	Cambiadero Oreganal	2.0	5.1	3.9	0.2	0.0	0.0	0.2	3.9	2.9	7.0	8.6
6	MS	Cambiadero Patilla	2.0	5.1	3.8	0.2	0.0	0.0	0.2	6.0	2.9	5.1	8.6
7	MS	Garito P9	2.2	52.4	4.2	0.4	0.2	0.2	0.0	6.1	3.0	5.3	8.8
8	MS	Isla Portail 2	7.8	1.5	1.3	6.1	3.9	6.0	6.1	0.0	8.8	4.2	5.3
9	MS	Isla portail 4	3.6	8.0	6.7	2.7	2.9	2.9	3.0	8.8	0.0	8.0	10.9
10	MS	Isla portail 6	6.9	33.2	5.5	5.3	7.0	5.1	5.3	4.2	8.0	0.0	13.7
11	MS	Isla Portail 8.	10.0	6.7	3.7	8.4	8.6	8.6	8.8	5.3	10.9	13.7	0.0
12	MS	línea 11	4.2	8.6	7.4	3.3	3.6	3.5	3.7	9.5	0.7	8.7	11.5
13	MS	línea 15	8.6	2.3	1.3	6.9	4.7	6.8	6.9	0.8	9.6	5.0	4.8
14	MS	Línea 7	4.7	9.2	7.7	3.9	4.1	4.1	4.2	10.1	0.9	9.2	12.0
15	MS	Línea 8	4.7	9.2	7.7	3.9	4.1	4.1	4.2	10.0	0.9	9.2	12.0
16	MS	Línea comuneros 1 y 2	7.2	33.4	5.7	5.5	5.3	5.3	5.5	4.4	8.2	0.2	9.7
17	MS	Línea k5	4.3	2.7	4.9	2.6	2.4	2.4	2.6	3.5	5.3	2.7	8.8
18	MS	Línea Marquezote 1 y 2	10.0	6.7	3.7	8.4	8.6	8.6	8.7	5.2	10.8	13.7	0.3
19	MS	Línea Oreganal 1	6.7	9.0	5.3	10.5	26.1	28.9	5.4	1.9	7.5	10.4	3.2
20	MS	Línea Oreganal 2	6.7	3.4	40.6	5.1	5.3	5.3	5.4	1.9	7.5	10.4	3.4
21	MS	Línea Sup. Oreganal	5.9	2.8	0.0	4.1	3.9	3.9	4.2	1.3	6.7	5.5	3.4
22	MS	Línea Sup. Patilla	1.7	5.4	3.9	0.1	0.3	0.3	0.5	6.3	2.6	5.4	8.3
23	MS	Manguitos 2	2.3	9.2	8.2	4.1	4.4	4.3	4.5	10.1	5.9	9.2	12.3
24	MS	Talleres 170	6.6	0.3	2.5	4.9	4.8	4.8	4.9	1.2	7.7	3.0	6.4
25	MS	Voladura sur (playa alta) 1	4.2	27.4	4.9	2.6	2.4	2.4	2.5	3.6	5.2	2.8	8.9

Actual orden	Sitio	Base de datos	Distancia
1 sitio	1	=INDEX($E$6:$E$30,$F37,1)	
2 sitio	2		
3 sitio	3		
4 sitio	4		
5 sitio	5		
6 sitio	6		
7 sitio	7		
8 sitio	8		
9 sitio	9		
10 sitio	10		
11 sitio	11		
12 sitio	12		
13 sitio	13		
14 sitio	14		
15 sitio	15		
16 sitio	16		
17 sitio	17		
18 sitio	18		
19 sitio	19		
20 sitio	20		
21 sitio	21		

Tabla 9. Primer paso para determinar la ruta optima mediante solver.

3. Listar los puntos de recolección mediante variables de decisión.

La función Index en Excel, es utilizada para listar los puntos de recolección en la columna G. La función INDEX (rango, número de fila, número de columna), está dada por, el rango equivalente a la columna E35:E39, el número de fila, equivalente a la celda C35, C36,,Cn, y el número de columna equivalente a la columna 1. Esto con el fin de organizar consecutivamente el orden de recorrido en la ruta de recolección que arrojara solver.

=INDEX($E$6:$E$30,$F40,1)

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
		MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
AREA	BASE DE DATOS	Isla portail 1	Administrativos del Sur	CAE 4. Oreganal	CAE Patilla	Cambiadero Oreganal	Cambiadero Patilla	Garita P3	Isla Portatil 2	Isla portatil 4	Isla portatil 6	Isla Portatil 8.	Línea 11	Línea 15
MS	Isla portail 1	0.0	6.9	5.9	1.8	2.0	2.0	2.2	7.8	3.6	6.9	10.0	4.2	8.6
MS	Administrativos del Sur	6.9	0.0	2.8	5.3	5.1	5.1	52.4	1.5	8.0	33.2	6.7	8.6	2.3
MS	CAE 4. Oreganal	5.9	2.8	0.0	4.0	3.9	3.8	4.2	1.3	6.7	5.5	3.7	7.4	1.3
MS	CAE Patilla	1.8	5.3	4.0	0.0	0.2	0.2	0.4	6.1	2.7	5.3	8.4	3.3	6.9
MS	Cambiadero Oreganal	2.0	5.1	3.9	0.2	0.0	0.0	0.2	3.9	2.9	7.0	8.6	3.6	4.7
MS	Cambiadero Patilla	2.0	5.1	3.8	0.2	0.0	0.0	0.2	6.0	2.9	5.1	8.6	3.5	6.8
MS	Garita P3	2.2	52.4	4.2	0.4	0.2	0.2	0.0	6.1	3.0	5.3	8.8	3.7	6.9
MS	Isla Portatil 2	7.8	1.5	1.3	6.1	3.9	6.0	6.1	0.0	8.8	4.2	5.3	9.5	0.8
MS	Isla portatil 4	3.6	8.0	6.7	2.7	2.9	2.9	3.0	8.8	0.0	8.0	10.9	0.7	9.6
MS	Isla portatil 6	6.9	33.2	5.5	5.3	7.0	5.1	5.3	4.2	8.0	0.0	13.7	8.7	5.0
MS	Isla Portatil 8.	10.0	6.7	3.7	8.4	8.6	8.6	8.8	5.3	10.9	13.7	0.0	11.5	4.8
MS	línea 11	4.2	8.6	7.4	3.3	3.6	3.5	3.7	9.5	0.7	8.7	11.5	0.0	10.3
MS	línea 15	8.6	2.3	1.3	6.9	4.7	6.8	6.9	0.8	9.6	5.0	4.8	10.3	0.0
MS	Línea 7	4.7	9.2	7.7	3.9	4.1	4.1	4.2	10.1	0.9	9.2	12.0	0.5	10.9
MS	Línea 8	4.7	9.2	7.7	3.9	4.1	4.1	4.2	10.0	0.9	9.2	12.0	0.5	10.8
MS	Línea comuneros 1 y 2	7.2	33.4	5.7	5.5	5.3	5.3	5.5	4.4	8.2	0.2	9.7	8.9	5.2
MS	Línea k5	4.3	2.7	4.9	2.6	2.4	2.4	2.6	3.5	5.3	2.7	8.8	6.0	4.3
MS	Línea Marquezote 1 y 2	10.0	6.7	3.7	8.4	8.6	8.6	8.7	5.2	10.8	13.7	0.3	11.5	4.8
MS	Línea Oreganal 1	6.7	9.0	5.3	10.5	26.1	28.9	5.4	1.9	7.5	10.4	3.2	8.2	1.5
MS	Línea Oreganal 2	6.7	3.4	40.6	5.1	5.3	5.3	5.4	1.9	7.5	10.4	3.4	8.2	1.5
MS	Línea Sup. Oreganal	5.9	2.8	0.0	4.1	3.9	3.9	4.2	1.3	6.7	5.5	3.4	7.4	1.3
MS	Línea Sup. Patilla	1.7	5.4	3.9	0.1	0.3	0.3	0.5	6.3	2.6	5.4	8.3	3.2	7.1
MS	Manguitos 2	2.3	9.2	8.2	4.1	4.4	4.3	4.5	10.1	5.9	9.2	12.3	6.5	10.9
MS	Talleres 170	6.6	0.3	2.5	4.9	4.8	4.8	4.9	1.2	7.7	3.0	6.4	8.3	2.0
MS	Voladura sur (playa alta) 1	4.2	27.4	4.9	2.6	2.4	2.4	2.5	3.6	5.2	2.8	8.9	5.9	4.4

Actual orden	Sitio	Base de datos	Distancia
1 sitio	1	Isla portail 1	
2 sitio	2	Administrativos del Sur.	
3 sitio	3	CAE 4. Oreganal	
4 sitio	4	=INDEX($E$6:$E$30,$F40,1)	
5 sitio	5		
6 sitio	6		
7 sitio	7		
8 sitio	8	Isla Portatil 2	
9 sitio	9	Isla portatil 4	
10 sitio	10	Isla portatil 6	
11 sitio	11	Isla Portatil 8.	
12 sitio	12	línea 11	
13 sitio	13	línea 15	
14 sitio	14	Línea 7	
15 sitio	15	Línea 8	
16 sitio	16	Línea comuneros 1 y 2	
17 sitio	17	Línea k5	
18 sitio	18	Línea Marquezote 1 y 2	
19 sitio	19	Línea Oreganal 1	
20 sitio	20	Línea Oreganal 2	
21 sitio	21	Línea Sup. Oreganal	
22 sitio	22	Línea Sup. Patilla	
23 sitio	23	Manguitos 2	

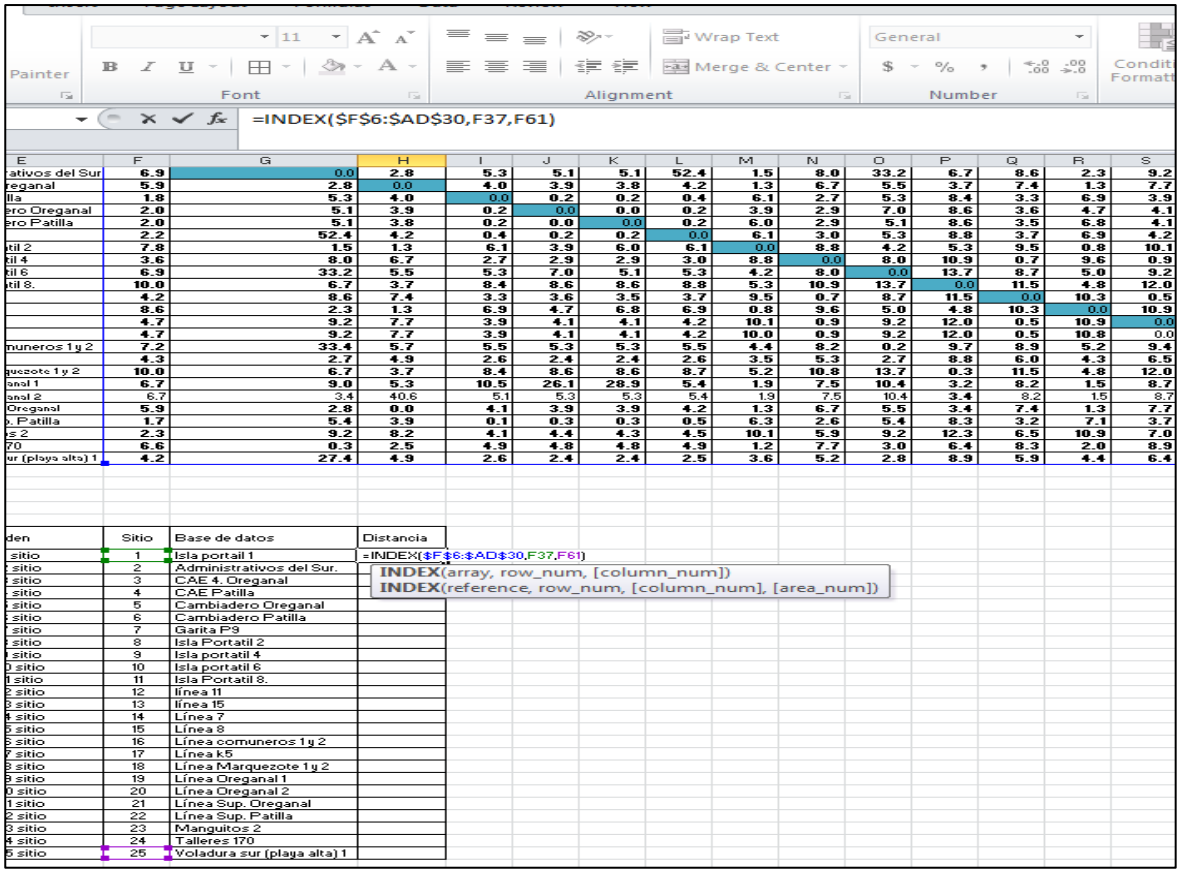
INDEX(array, row_num, [column_num])
INDEX(reference, row_num, [column_num], [area_num])

Tabla 10. Segundo paso para determinar la ruta optima mediante solver.

4. **Calcular la distancia entre cada punto de recolección, en la matriz de distancia.**

La distancia entre cada punto de recolección se muestran en la columna H, la cual es determinada, mediante la función INDEX, en este paso se determina en la matriz de distancia cual es la distancia de ir del punto A, al punto B, y del punto B al punto C, hasta llegar nuevamente al punto A.

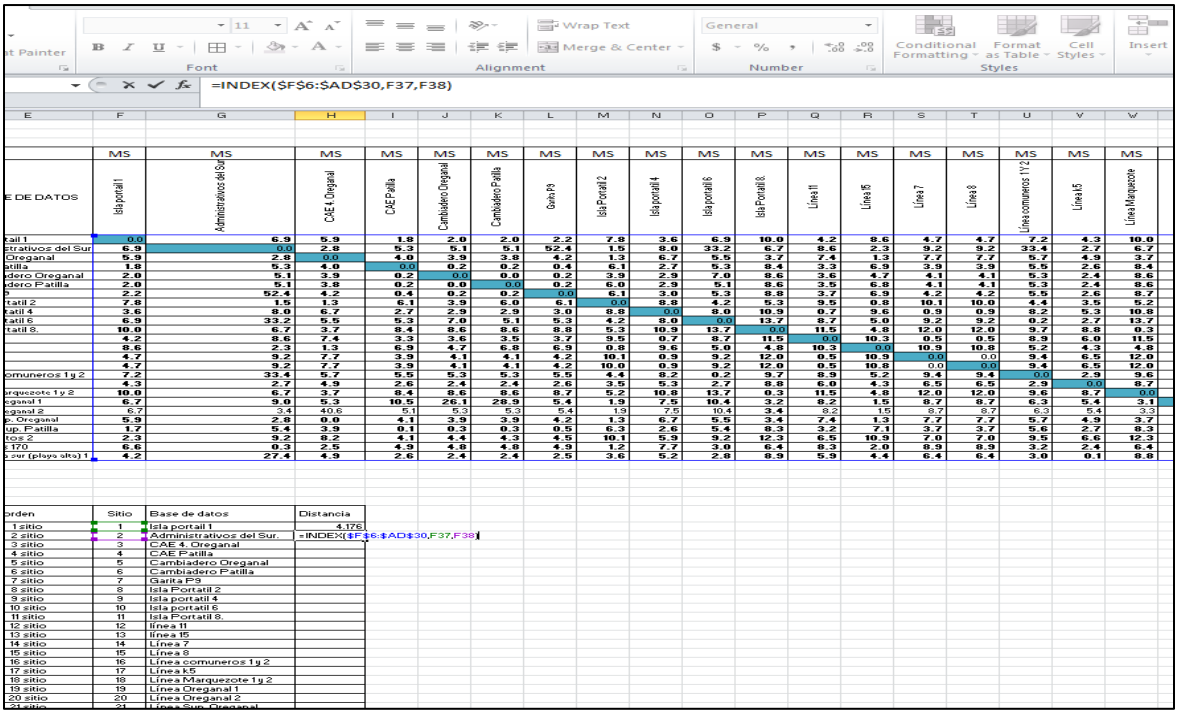
En las siguientes tablas se muestra el proceso realizado en el Excel para establecer la distancia de cada punto de recolección, mediante la matriz de distancia (tabla 14).



E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
ativos del Sur	6.9	0.0	2.8	5.3	5.1	5.1	52.4	1.5	8.0	33.2	6.7	8.6	2.3	9.2
reganal	5.9	2.8	0.0	4.0	3.9	3.8	4.2	1.3	6.7	5.5	3.7	7.4	1.3	7.7
lla	1.8	5.3	4.0	0.0	0.2	0.2	0.4	6.1	2.7	5.3	8.4	3.3	6.9	3.9
ero Oreganal	2.0	5.1	3.9	0.2	0.0	0.0	0.2	3.9	2.9	7.0	8.6	3.6	4.7	4.1
ero Patilla	2.0	5.1	3.8	0.2	0.0	0.0	0.2	6.0	2.9	5.1	8.6	3.5	6.8	4.1
	2.2	52.4	4.2	0.4	0.2	0.2	0.0	6.1	3.0	5.3	8.8	3.7	6.9	4.2
til 2	7.8	1.5	1.3	6.1	3.9	6.0	6.1	0.0	8.8	4.2	5.3	9.5	0.8	10.1
til 4	3.6	8.0	6.7	2.7	2.9	2.9	3.0	8.8	0.0	8.0	10.9	0.7	9.6	0.9
til 6	6.9	33.2	5.5	5.3	7.0	5.1	5.3	4.2	8.0	0.0	13.7	8.7	5.0	9.2
til 8.	10.0	6.7	3.7	8.4	8.6	8.6	8.8	5.3	10.9	13.7	0.0	11.5	4.8	12.0
	4.2	8.6	7.4	3.3	3.6	3.5	3.7	9.5	0.7	8.7	11.5	0.0	10.3	0.5
	8.6	2.3	1.3	6.9	4.7	6.8	6.9	0.8	9.6	5.0	4.8	10.3	0.0	10.9
	4.7	9.2	7.7	3.9	4.1	4.1	4.2	10.1	0.9	9.2	12.0	0.5	10.9	0.0
	4.7	9.2	7.7	3.9	4.1	4.1	4.2	10.0	0.9	9.2	12.0	0.5	10.8	0.0
nuneros 1 y 2	7.2	33.4	5.7	5.5	5.3	5.3	5.5	4.4	8.2	0.2	9.7	8.9	5.2	9.4
	4.3	2.7	4.9	2.6	2.4	2.4	2.6	3.5	5.3	2.7	8.8	6.0	4.3	6.5
quezote 1 y 2	10.0	6.7	3.7	8.4	8.6	8.6	8.7	5.2	10.8	13.7	0.3	11.5	4.8	12.0
anal 1	6.7	9.0	5.3	10.5	26.1	28.9	5.4	1.9	7.5	10.4	3.2	8.2	1.5	8.7
anal 2	6.7	3.4	40.6	5.1	5.3	5.3	5.4	1.9	7.5	10.4	3.4	8.2	1.5	8.7
Oreganal	5.9	2.8	0.0	4.1	3.9	3.9	4.2	1.3	6.7	5.5	3.4	7.4	1.3	7.7
. Patilla	1.7	5.4	3.9	0.1	0.3	0.3	0.5	6.3	2.6	5.4	8.3	3.2	7.1	3.7
s 2	2.3	9.2	8.2	4.1	4.4	4.3	4.5	10.1	5.9	9.2	12.3	6.5	10.9	7.0
70	6.6	0.3	2.5	4.9	4.8	4.8	4.9	1.2	7.7	3.0	6.4	8.3	2.0	8.9
ur (playa alta) 1	4.2	27.4	4.9	2.6	2.4	2.4	2.5	3.6	5.2	2.8	8.9	5.9	4.4	6.4

den	Sitio	Base de datos	Distancia
sitio	1	Isla portail 1	=INDEX($F$6:$AD$30,F37,F61)
sitio	2	Administrativos del Sur.	
sitio	3	CAE 4. Oreganal	
sitio	4	CAE Patilla	
sitio	5	Cambiadero Oreganal	
sitio	6	Cambiadero Patilla	
sitio	7	Garita P3	
sitio	8	Isla Portatil 2	
sitio	9	Isla portatil 4	
sitio	10	Isla portatil 6	
sitio	11	Isla Portatil 8.	
sitio	12	línea 11	
sitio	13	línea 15	
sitio	14	Línea 7	
sitio	15	Línea 8	
sitio	16	Línea comuneros 1 y 2	
sitio	17	Línea k5	
sitio	18	Línea Marquezote 1 y 2	
sitio	19	Línea Oreganal 1	
sitio	20	Línea Oreganal 2	
sitio	21	Línea Sup. Oreganal	
sitio	22	Línea Sup. Patilla	
sitio	23	Manguitos 2	
sitio	24	Talleres 170	
sitio	25	Voladura sur (playa alta) 1	

Tabla 11. Tercer paso para determinar la ruta optima mediante solver.

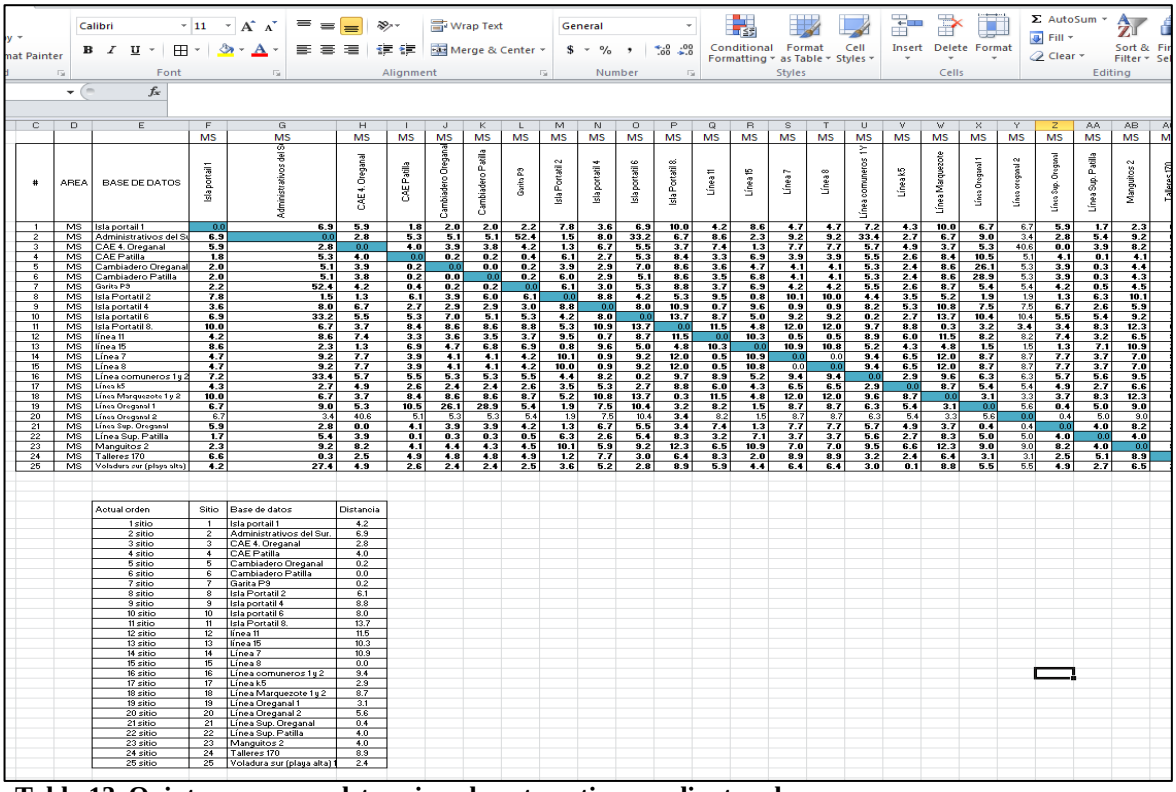


=INDEX($F$6:$AD$30,F37,F38)

E DE DATOS	Isla portatil 1	Administrativos del Sur	CAE 4. Oreganal	CAE Patilla	Cambiadero Oreganal	Cambiadero Patilla	Garita P9	Isla Portatil 2	Isla portatil 4	Isla portatil 6	Isla Portatil 8.	Línea 11	Línea 15	Línea 7	Línea 8	Línea comuneros 1Y 2	Línea k5	Línea Marquezote
	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
tail 1	0.0	6.9	5.9	1.8	2.0	2.0	2.2	7.8	3.6	6.9	10.0	4.2	8.6	4.7	4.7	7.2	4.3	10.0
ttrativos del Sur	6.9	0.0	2.8	5.3	5.1	5.1	52.4	1.5	8.0	33.2	6.7	8.6	2.3	9.2	9.2	33.4	2.7	6.7
Oreganal	5.9	2.8	0.0	4.0	3.9	3.8	4.2	1.3	6.7	5.5	3.7	7.4	1.3	7.7	7.7	5.7	4.9	3.7
atilla	1.8	5.3	4.0	0.0	0.2	0.2	0.4	6.1	2.7	5.3	8.4	3.3	6.9	3.9	3.9	5.5	2.6	8.4
adero Oreganal	2.0	5.1	3.9	0.2	0.0	0.0	0.2	3.9	2.9	7.0	8.6	3.6	4.7	4.1	4.1	5.3	2.4	8.6
adero Patilla	2.0	5.1	3.8	0.2	0.0	0.0	0.2	6.0	2.9	5.1	8.6	3.5	6.8	4.1	4.1	5.3	2.4	8.6
a	2.2	52.4	4.2	0.4	0.2	0.2	0.0	6.1	3.0	5.3	8.8	3.7	6.9	4.2	4.2	5.5	2.6	8.7
tatil 2	7.8	1.5	1.3	6.1	3.9	6.0	6.1	0.0	8.8	4.2	5.3	9.5	0.8	10.1	10.0	4.4	3.5	5.2
tatil 4	3.6	8.0	6.7	2.7	2.9	2.9	3.0	8.8	0.0	8.0	10.9	0.7	9.6	0.9	0.9	8.2	5.3	10.8
tatil 6	6.9	33.2	5.5	5.3	7.0	5.1	5.3	4.2	8.0	0.0	13.7	8.7	5.0	9.2	9.2	0.2	2.7	13.7
tatil 8.	10.0	6.7	3.7	8.4	8.6	8.6	8.8	5.3	10.9	13.7	0.0	11.5	4.8	12.0	12.0	9.7	8.8	0.3
	4.2	8.6	7.4	3.3	3.6	3.5	3.7	9.5	0.7	8.7	11.5	0.0	10.3	0.5	0.5	8.9	6.0	11.5
	8.6	2.3	1.3	6.9	4.7	6.8	6.9	0.8	9.6	5.0	4.8	10.3	0.0	10.9	10.8	5.2	4.3	4.8
	4.7	9.2	7.7	3.9	4.1	4.1	4.2	10.1	0.9	9.2	12.0	0.5	10.9	0.0	0.0	9.4	6.5	12.0
	4.7	9.2	7.7	3.9	4.1	4.1	4.2	10.0	0.9	9.2	12.0	0.5	10.8	0.0	0.0	9.4	6.5	12.0
omuneros 1 y 2	7.2	33.4	5.7	5.5	5.3	5.3	5.5	4.4	8.2	0.2	9.7	8.9	5.2	9.4	9.4	0.0	2.9	9.6
arquezote 1 y 2	4.3	2.7	4.9	2.6	2.4	2.4	2.6	3.5	5.3	2.7	8.8	6.0	4.3	6.5	6.5	2.9	0.0	8.7
eganal 1	10.0	6.7	3.7	8.4	8.6	8.6	8.7	5.2	10.8	13.7	0.3	11.5	4.8	12.0	12.0	9.6	8.7	0.0
eganal 2	6.7	9.0	5.3	10.5	26.1	28.9	5.4	1.9	7.5	10.4	3.2	8.2	1.5	8.7	8.7	6.3	5.4	3.1
p. Oreganal	5.9	2.8	0.0	4.1	3.9	3.9	4.2	1.3	6.7	5.5	3.4	7.4	1.3	7.7	7.7	5.7	4.9	3.7
up. Patilla	1.7	5.4	3.9	0.1	0.3	0.3	0.5	6.3	2.6	5.4	8.3	3.2	7.1	3.7	3.7	5.6	2.7	8.3
tos 2	2.3	9.2	8.2	4.1	4.4	4.3	4.5	10.1	5.9	9.2	12.3	6.5	10.9	7.0	7.0	9.5	6.6	12.3
170	6.6	0.3	2.5	4.9	4.8	4.8	4.9	1.2	7.7	3.0	6.4	8.3	2.0	8.9	8.9	3.2	2.4	6.4
sur (playa alta) 1	4.2	27.4	4.9	2.6	2.4	2.4	2.5	3.6	5.2	2.8	8.9	5.9	4.4	6.4	6.4	3.0	0.1	8.8

orden	Sitio	Base de datos	Distancia
1 sitio	1	Isla portatil 1	4.176
2 sitio	2	Administrativos del Sur.	=INDEX($F$6:$AD$30,F37,F38)
3 sitio	3	CAE 4. Oreganal	
4 sitio	4	CAE Patilla	
5 sitio	5	Cambiadero Oreganal	
6 sitio	6	Cambiadero Patilla	
7 sitio	7	Garita P9	
8 sitio	8	Isla Portatil 2	
9 sitio	9	Isla portatil 4	
10 sitio	10	Isla portatil 6	
11 sitio	11	Isla Portatil 8.	
12 sitio	12	línea 11	
13 sitio	13	línea 15	
14 sitio	14	Línea 7	
15 sitio	15	Línea 8	
16 sitio	16	Línea comuneros 1 y 2	
17 sitio	17	Línea k5	
18 sitio	18	Línea Marquezote 1 y 2	
19 sitio	19	Línea Oreganal 1	
20 sitio	20	Línea Oreganal 2	
21 sitio	21	Línea Sup. Oreganal	

Tabla 12. Cuarto paso para determinar la ruta optima mediante solver.



#	AREA	BASE DE DATOS	Isla portatil 1	Administrativos del Sur	CAE 4. Oreganal	CAE Patilla	Cambiadero Oreganal	Cambiadero Patilla	Garita P9	Isla Portatil 2	Isla portatil 4	Isla portatil 6	Isla Portatil 8.	Línea 11	Línea 15	Línea 7	Línea 8	Línea comuneros 1Y	Línea k5	Línea Marquezote	Línea Oreganal 1	Línea oreganal 2	Línea Sup. Oreganal	Línea Sup. Patilla	Mangulitos 2	Talleres 170
			MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	M
1	MS	Isla portatil 1	0.0	6.9	5.9	1.8	2.0	2.0	2.2	7.8	3.6	6.9	10.0	4.2	8.6	4.7	4.7	7.2	4.3	10.0	6.7	6.7	5.9	1.7	2.3	
2	MS	Administrativos del Sur	6.9	0.0	2.8	5.3	5.1	5.1	52.4	1.5	8.0	33.2	6.7	8.6	2.3	9.2	9.2	33.4	2.7	6.7	9.0	3.4	2.8	5.4	9.2	
3	MS	CAE 4. Oreganal	5.9	2.8	0.0	4.0	3.9	3.8	4.2	1.3	6.7	5.5	3.7	7.4	1.3	7.7	7.7	5.7	4.9	3.7	5.3	40.6	0.0	3.9	8.2	
4	MS	CAE Patilla	1.8	5.3	4.0	0.0	0.2	0.2	0.4	6.1	2.7	5.3	8.4	3.3	6.9	3.9	3.9	5.5	2.6	8.4	10.5	5.1	4.1	0.1	4.1	
5	MS	Cambiadero Oreganal	2.0	5.1	3.9	0.2	0.0	0.0	0.2	3.9	2.9	7.0	8.6	3.6	4.7	4.1	4.1	5.3	2.4	8.6	26.1	5.3	3.9	0.3	4.4	
6	MS	Cambiadero Patilla	2.0	5.1	3.8	0.2	0.0	0.0	0.2	6.0	2.9	5.1	8.6	3.5	6.8	4.1	4.1	5.3	2.4	8.6	28.9	5.3	3.9	0.3	4.3	
7	MS	Garita P9	2.2	52.4	4.2	0.4	0.2	0.2	0.0	6.1	3.0	5.3	8.8	3.7	6.9	4.2	4.2	5.5	2.6	8.7	5.4	5.4	4.2	0.5	4.5	
8	MS	Isla Portatil 2	7.8	1.5	1.3	6.1	3.9	6.0	6.1	0.0	8.8	4.2	5.3	9.5	0.8	10.1	10.0	4.4	3.5	5.2	1.9	1.9	1.3	6.3	10.1	
9	MS	Isla portatil 4	3.6	8.0	6.7	2.7	2.9	2.9	3.0	8.8	0.0	8.0	10.9	0.7	9.6	0.9	0.9	8.2	5.3	10.8	7.5	7.5	6.7	2.6	5.9	
10	MS	Isla portatil 6	6.9	33.2	5.5	5.3	7.0	5.1	5.3	4.2	8.0	0.0	13.7	8.7	5.0	9.2	9.2	0.2	2.7	13.7	10.4	10.4	5.5	5.4	9.2	
11	MS	Isla Portatil 8.	10.0	6.7	3.7	8.4	8.6	8.6	8.8	5.3	10.9	13.7	0.0	11.5	4.8	12.0	12.0	9.7	8.8	0.3	3.2	3.4	3.4	8.3	12.3	
12	MS	línea 11	4.2	8.6	7.4	3.3	3.6	3.5	3.7	9.5	0.7	8.7	11.5	0.0	10.3	0.5	0.5	8.9	6.0	11.5	8.2	8.2	7.4	3.2	6.5	
13	MS	línea 15	8.6	2.3	1.3	6.9	4.7	6.8	6.9	0.8	9.6	5.0	4.8	10.3	0.0	10.9	10.8	5.2	4.3	4.8	1.5	1.5	1.3	7.1	10.9	
14	MS	Línea 7	4.7	9.2	7.7	3.9	4.1	4.1	4.2	10.1	0.9	9.2	12.0	0.5	10.9	0.0	0.0	9.4	6.5	12.0	8.7	8.7	7.7	3.7	7.0	
15	MS	Línea 8	4.7	9.2	7.7	3.9	4.1	4.1	4.2	10.0	0.9	9.2	12.0	0.5	10.8	0.0	0.0	9.4	6.5	12.0	8.7	8.7	7.7	3.7	7.0	
16	MS	Línea comuneros 1 y 2	7.2	33.4	5.7	5.5	5.3	5.3	5.5	4.4	8.2	0.2	9.7	8.9	5.2	9.4	9.4	0.0	2.9	9.6	6.3	6.3	5.7	5.6	9.5	
17	MS	Línea k5	4.3	2.7	4.9	2.6	2.4	2.4	2.6	3.5	5.3	2.7	8.8	6.0	4.3	6.5	6.5	2.9	0.0	8.7	5.4	5.4	4.9	2.7	6.6	
18	MS	Línea Marquezote 1 y 2	10.0	6.7	3.7	8.4	8.6	8.6	8.7	5.2	10.8	13.7	0.3	11.5	4.8	12.0	12.0	9.6	8.7	0.0	3.1	3.3	3.7	8.3	12.3	
19	MS	Línea Oreganal 1	6.7	9.0	5.3	10.5	26.1	28.9	5.4	1.9	7.5	10.4	3.2	8.2	1.5	8.7	8.7	6.3	5.4	3.1	0.0	5.6	0.4	5.0	9.0	
20	MS	Línea Oreganal 2	6.7	3.4	40.6	5.1	5.3	5.3	5.4	1.9	7.5	10.4	3.4	8.2	1.5	8.7	8.7	6.3	5.4	3.3	5.6	0.0	0.4	5.0	9.0	
21	MS	Línea Sup. Oreganal	5.9	2.8	0.0	4.1	3.9	3.9	4.2	1.3	6.7	5.5	3.4	7.4	1.3	7.7	7.7	5.7	4.9	3.7	0.4	0.4	0.0	4.0	8.2	
22	MS	Línea Sup. Patilla	1.7	5.4	3.9	0.1	0.3	0.3	0.5	6.3	2.6	5.4	8.3	3.2	7.1	3.7	3.7	5.6	2.7	8.3	5.0	5.0	4.0	0.0	4.0	
23	MS	Mangulitos 2	2.3	9.2	8.2	4.1	4.4	4.3	4.5	10.1	5.9	9.2	12.3	6.5	10.9	7.0	7.0	9.5	6.6	12.3	9.0	9.0	8.2	4.0	0.0	
24	MS	Talleres 170	6.6	0.3	2.5	4.9	4.8	4.8	4.9	1.2	7.7	3.0	6.4	8.3	2.0	8.9	8.9	3.2	2.4	6.4	3.1	3.1	2.5	5.1	8.9	
25	MS	Voladura sur (playa alta)	4.2	27.4	4.9	2.6	2.4	2.4	2.5	3.6	5.2	2.8	8.9	5.9	4.4	6.4	6.4	3.0	0.1	8.8	5.5	5.5	4.9	2.7	6.5	

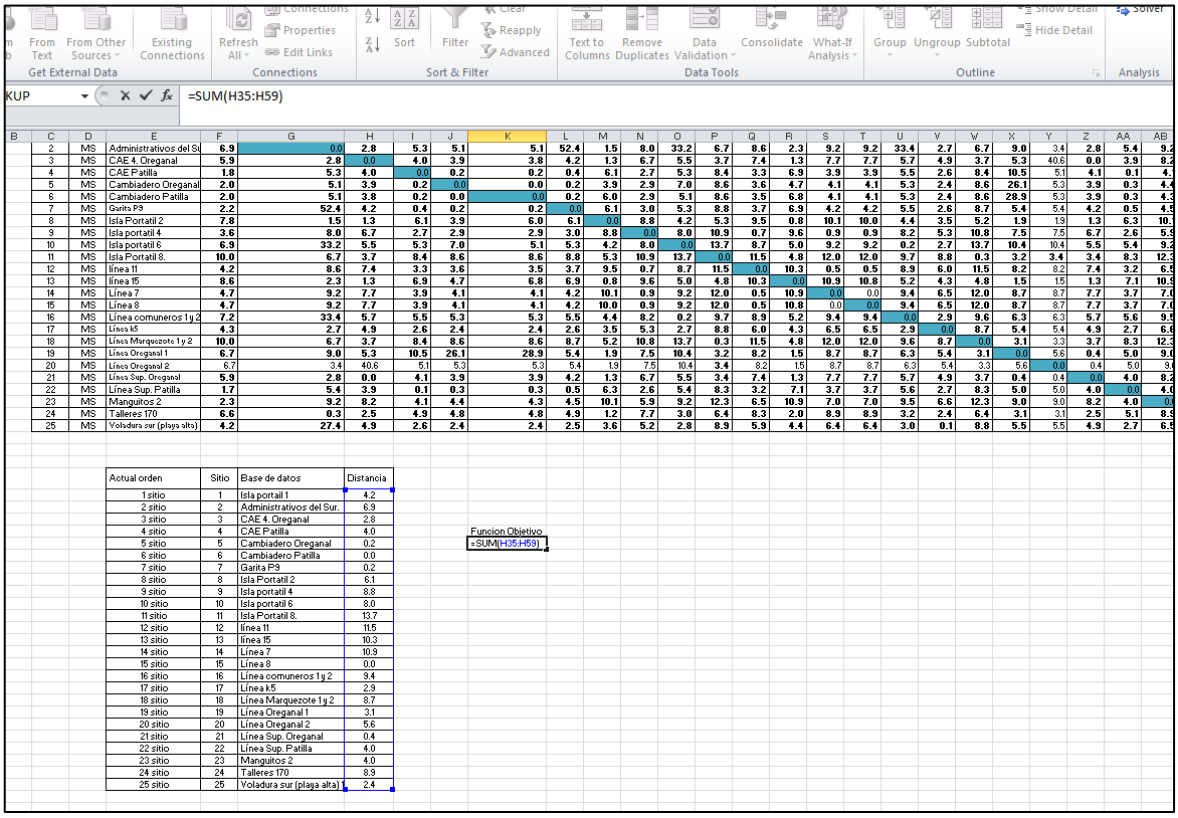
Actual orden	Sitio	Base de datos	Distancia
1 sitio	1	Isla portatil 1	4.2
2 sitio	2	Administrativos del Sur.	6.9
3 sitio	3	CAE 4. Oreganal	2.8
4 sitio	4	CAE Patilla	4.0
5 sitio	5	Cambiadero Oreganal	0.2
6 sitio	6	Cambiadero Patilla	0.0
7 sitio	7	Garita P9	0.2
8 sitio	8	Isla Portatil 2	6.1
9 sitio	9	Isla portatil 4	8.8
10 sitio	10	Isla portatil 6	8.0
11 sitio	11	Isla Portatil 8.	13.7
12 sitio	12	línea 11	11.5
13 sitio	13	línea 15	10.3
14 sitio	14	Línea 7	10.9
15 sitio	15	Línea 8	0.0
16 sitio	16	Línea comuneros 1 y 2	3.4
17 sitio	17	Línea k5	2.9
18 sitio	18	Línea Marquezote 1 y 2	8.7
19 sitio	19	Línea Oreganal 1	3.1
20 sitio	20	Línea Oreganal 2	5.6
21 sitio	21	Línea Sup. Oreganal	0.4
22 sitio	22	Línea Sup. Patilla	4.0
23 sitio	23	Mangulitos 2	4.0
24 sitio	24	Talleres 170	8.9
25 sitio	25	Voladura sur (playa alta) 1	2.4

Tabla 13. Quinto paso para determinar la ruta optima mediante solver.

5. Aplicar la función objetivo

La función objetivo es minimizar la distancia en el proceso de recolección de residuos sólidos en el área de mina sur. Se establecerá la función objetivo como la sumatoria de la distancia de ir de un punto a otro.

En la siguiente tabla la función objetivo está determinada por la sumatoria de la columna H, sum (H35:H59)



Actual orden	Sitio	Base de datos	Distancia
1 sitio	1	Isla portail 1	4.2
2 sitio	2	Administrativos del Sur.	6.9
3 sitio	3	CAE 4. Oreganal	2.8
4 sitio	4	CAE Patilla	4.0
5 sitio	5	Cambiadero Oreganal	0.2
6 sitio	6	Cambiadero Patilla	0.0
7 sitio	7	Garita P9	0.2
8 sitio	8	Isla Portatil 2	6.1
9 sitio	9	Isla portatil 4	8.8
10 sitio	10	Isla portatil 6	8.0
11 sitio	11	Isla Portatil 8.	13.7
12 sitio	12	línea 11	11.5
13 sitio	13	línea 15	10.3
14 sitio	14	Línea 7	10.9
15 sitio	15	Línea 8	0.0
16 sitio	16	Línea comuneros 1 y 2	3.4
17 sitio	17	Línea k5	2.9
18 sitio	18	Línea Marquezote 1 y 2	8.7
19 sitio	19	Línea Oreganal 1	3.1
20 sitio	20	Línea Oreganal 2	5.6
21 sitio	21	Línea Sup. Oreganal	0.4
22 sitio	22	Línea Sup. Patilla	4.0
23 sitio	23	Manguitos 2	4.0
24 sitio	24	Talleres 170	8.9
25 sitio	25	Voladura sur (playa alta)	2.4

Tabla 14. Sexto paso para determinar la ruta optima mediante solver.

6. Modelación en solver

En este paso se selecciona la función objetivo, k39, las celdas variables, $F$35:$F$59, y se agrega la restricción determinada por $F$35:$F$59=AllDiferent.

Mediante este paso queremos que solver nos arroje en un determinado tiempo cual es la nueva ruta que se debe seguir en el proceso de recolección de residuos, visualizada en el orden arrojado en las columnas G YH.Las siguientes tablas detallan el proceso realizado en solver y la ruta arrojada por él.

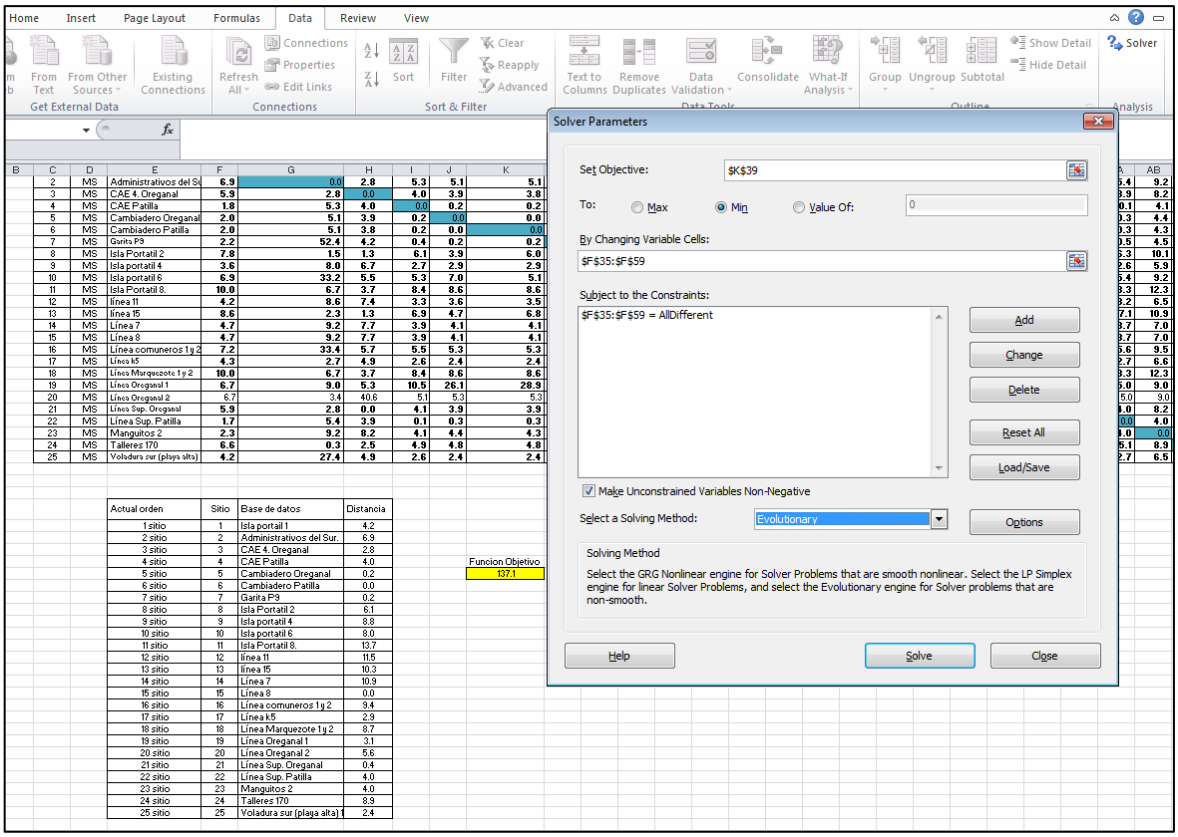


Tabla 15. Séptimo paso para determinar la ruta optima mediante solver.

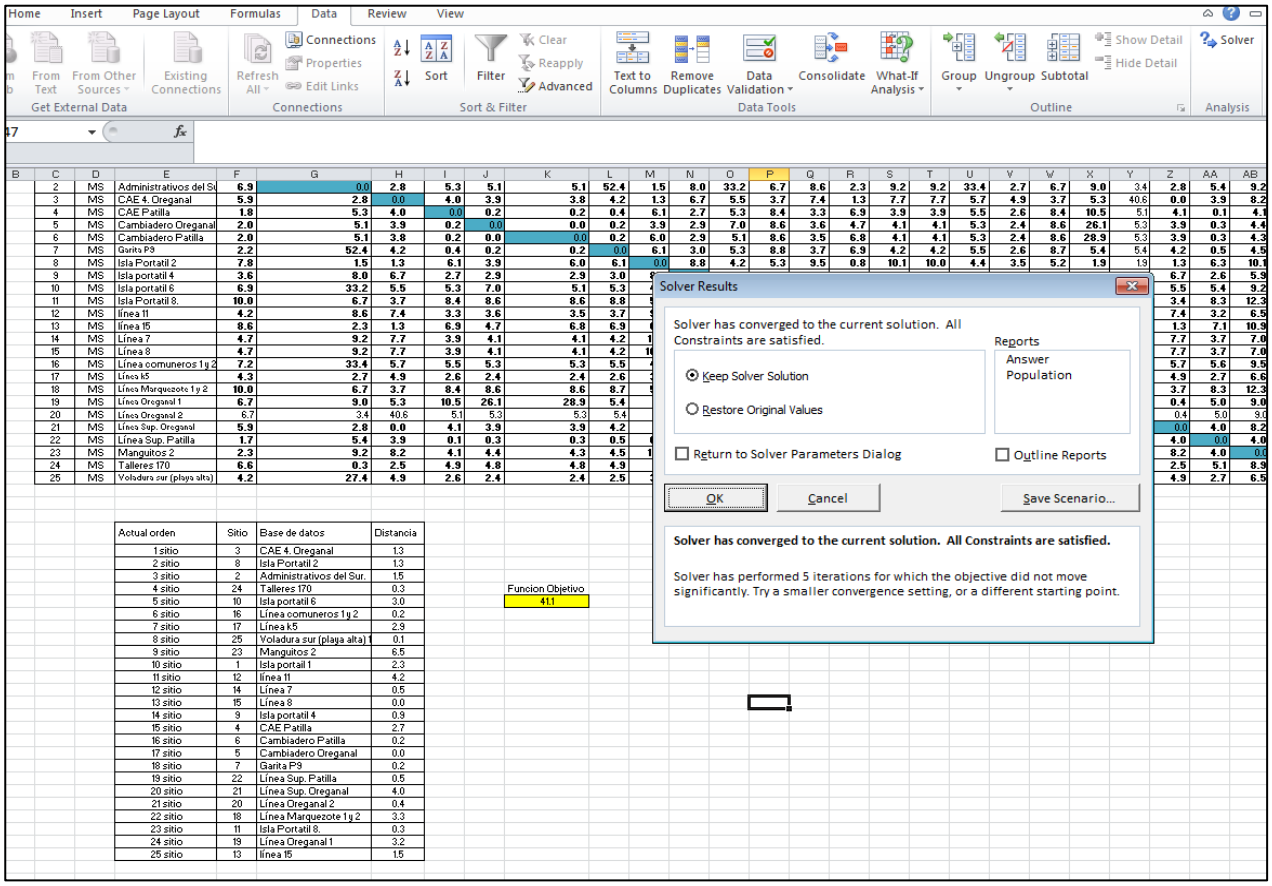


Tabla 16. Octavo paso para determinar la ruta optima mediante solver.

7. Nueva ruta de recolección, a partir de solver

Mediante los anteriores pasos la ruta de recolección en mina sur, quedo establecida de la siguiente manera**:**

COMPACTADOR : RUTA MINA SUR (MARTES-JUEVES-SABADOS)		
Localización A	Localización B	# Localizaciones
Isla portail 1	Manguitos 2	1
Manguitos 2	CAE 4 oreganal	2
CAE 4 oreganal	Línea Sup. Oreganal	3
Línea Sup. Oreganal	Línea Oreganal 2	4
Línea Oreganal 2	Línea Marquezote 1 y 2	5
Línea Marquezote 1 y 2	Isla Portatil 8.	6
Isla Portatil 8.	Línea Oreganal 1	7
Línea Oreganal 1	Línea 15	8
Línea 15	Isla Portatil 2	9
Isla Portatil 2	Administrativo del Sur	10
Administrativo del Sur	Talleres 170	11
Talleres 170	Isla Portatil 6	12
Isla Portatil 6	Línea comuneros 1 y 2	13
Línea comuneros 1 y 2	Línea k5	14
Línea k5	Voladura sur (playa alta) 1	15
Voladura sur (playa alta) 1	Cambiadero patilla	16
Cambiadero patilla	Garita P9	17
Garita P9	Cambiadero oreganal	18
Cambiadero oreganal	CAE patilla	19
CAE patilla	Línea Sup Patilla	20
Línea Sup Patilla	Isla Portatil 4	21
Isla Portatil 4	Línea 11	22
Línea 11	Línea 8	23
Línea 8	Línea 7	24
Línea 7	Isla portatil 1	25

Tabla 17. Nueva ruta de recolección en mina sur.

3.5 PRUEBA PILOTO, IMPLEMENTACIÓN DE NUEVA RUTA DE RECOLECCIÓN

Informe de Movimiento Diario
Col FV Syscaf Cerrejon Transporte

Desde 11/24/2015 **Para** 11/24/2015

Descripción	**SO-76-144**
Matrícula	**COMPACTADOR3**
ID del Vehículo	**30162**
Base	**Transporte sanitario**

Fecha de Salida	Conductor	Hora de Salida	Salida Desde	Tiempo de Conducción (hh:mm:ss)	Distancia (km)	Vel. Máx (km/h)	Hora de Llegada	Llegó a	Tiempo en Localización (hh:mm:ss)
11/24/2015	Conductor Desconocido	6:45 AM	Isla portail 1	00:01:54	0.30	17	6:45:15 AM	Manguitos 2	00:02:04
11/24/2015	Conductor Desconocido	7:05 AM	Manguitos 2	00:00:13	0.00	9	6:48 AM	CAE 4 oreganal	00:01:36
11/24/2015	Conductor Desconocido	7:30 AM	CAE 4 oreganal	00:00:16	0.00	11	7:25 AM	Línea Sup. Oreganal	00:01:14
11/24/2015	Conductor Desconocido	7:33 AM	Línea Sup. Oreganal	00:05:16	3.20	52	7:31 AM	Línea Oreganal 2	00:00:46
11/24/2015	Conductor Desconocido	7:40 AM	Línea Oreganal 2	00:00:04	0.00	7	7:36 AM	Línea Marquezote 1 y	00:16:19
11/24/2015	Conductor Desconocido	8:10 AM	Línea Marquezote 1 y 2	00:04:55	2.50	53	8:05 AM	Isla Portatil 8.	00:00:14
11/24/2015	Conductor Desconocido	8:14 AM	Isla Portatil 8.	00:00:32	0.00	15	8:12 AM	Línea Oreganal 1	00:00:29
11/24/2015	Conductor Desconocido	8:30 AM	Línea Oreganal 1	00:00:57	0.20	18	8:25 AM	Línea 15	00:00:23
11/24/2015	Conductor Desconocido	8:43 AM	Línea 15	00:00:10	0.00	7	8:40 AM	Isla Portatil 2	00:09:35
11/24/2015	Conductor Desconocido	8:55 AM	Isla Portatil 2	00:01:20	0.20	18	8:50 AM	Administrativo del Sur	00:07:59
11/24/2015	Conductor Desconocido	9:05 AM	Administrativo del Sur	00:00:53	0.10	11	8:56 AM	Talleres 170	00:04:36
11/24/2015	Conductor Desconocido	9:18 AM	Talleres 170	00:00:37	0.00	8	9:06 AM	Isla Portatil 6	00:00:59
11/24/2015	Conductor Desconocido	9:35 AM	Isla Portatil 6	00:00:01	0.00	5	9:25 AM	Línea comuneros 1 y 2	00:06:46
11/24/2015	Conductor Desconocido	9:52 AM	Línea comuneros 1 y 2	00:00:37	0.10	16	9:40 AM	Línea k5	00:05:33
11/24/2015	Conductor Desconocido	10:15 AM	Línea k5	00:01:27	0.30	19	10:04 AM	Voladura sur (playa alta) 1	00:11:21
11/24/2015	Conductor Desconocido	10:25 AM	Voladura sur (playa alta) 1	00:01:18	0.10	15	10:16 AM	Cambiadero patilla	00:00:13
11/24/2015	Conductor Desconocido	10:40 AM	Cambiadero patilla	00:02:37	0.00	7	10:35 AM	Garita P9	00:03:46
11/24/2015	Conductor Desconocido	10:55 AM	Garita P9	00:01:20	0.20	19	10:52 AM	Cambiadero oreganal	00:01:41
11/24/2015	Conductor Desconocido	10:58 AM	Cambiadero oreganal	00:00:32	0.00	15	10:56 AM	CAE patilla	00:01:40
11/24/2015	Conductor Desconocido	11:05 AM	CAE patilla	00:00:50	0.10	19	10:59 AM	Línea Sup Patilla	00:00:24
11/24/2015	Conductor Desconocido	11:10 AM	Línea Sup Patilla	00:01:07	0.00	7	11:06 AM	Isla Portatil 4	00:01:19
11/24/2015	Conductor Desconocido	11:23 AM	Isla Portatil 4	00:01:50	0.40	19	11:20 AM	Línea 11	00:00:14
11/24/2015	Conductor Desconocido	11:27 AM	Línea 11	00:00:42	0.00	12	11:23 AM	Línea 8	00:01:09
11/24/2015	Conductor Desconocido	11:33 AM	Línea 8	00:01:34	0.30	24	11:30 AM	Línea 7	00:02:08
11/24/2015	Conductor Desconocido	11:40 AM	Línea 7	00:01:22	0.20	23	11:34 AM		00:00:24
11/24/2015	Conductor Desconocido	11:45 AM	Isla portatil 1	00:00:04	0.00	0			00:02:21
Totales				**04:13:18**	**120.70**				**19:33:35**
Promedio				**00:02:01**	**0.97**				**00:09:23**

Tabla 18. Seguimiento nueva ruta de recolección.[11]

Cerrejón para tener control de sus equipos medianos y livianos se apoya del programa Mix Telematics[12], con el cual se puede hacer seguimiento de los movimientos que realiza el vehículo, su ubicación, los puntos donde y el tiempo que permanece en dicho sitio.

[11] Tomado y descargado de https://www.fm-web.us/Default.aspx?Alias=Default

La tabla 24, muestra el seguimiento de la nueva ruta de recolección en mina sur, la cual se llevó el día martes 24 de noviembre del 2015, el informe del seguimiento fue descargado mediante el VDO, en la aplicación Mix Telamtics, con el fin de hacer la comparación con la ruta anterior de recolección y mirar la efectividad de ambas rutas.

La prueba piloto consistió en aplicar la ruta de recolección arrojada mediante de Solver, para analizar si realmente optimiza el proceso.

Se socializo con el supervisor del proceso de recolección el nuevo cambio que se haría en la ruta, e igualmente se retroalimento a los aseadores del seguimiento que se les iba hacer el día 24 de Noviembre, para que realizaran el proceso que regularmente hacen pero con la nueva ruta, esto con el fin que no se sesgue la información.

La tabla 18 muestra la hora de salida desde el primer punto de recolección isla portátil 1 hasta el último punto en línea 7, así mismo la distancia total que se recorrió, y el tiempo que se gastó en realizar la recolección, este seguimiento se descargó mediante el VDO, gracias a que el equipo compactador tiene el programa instalado de la aplicación en Mix Telematics.

Así mismo en los anexos, se muestra las evidencias del seguimiento que se hizo al proceso de recolección. Se estuvo detrás del compactador registrando el tiempo y las acciones que hacía en cada punto donde se hacia la recolección.

[12] http://www.mixtelematics.es/home-es

3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

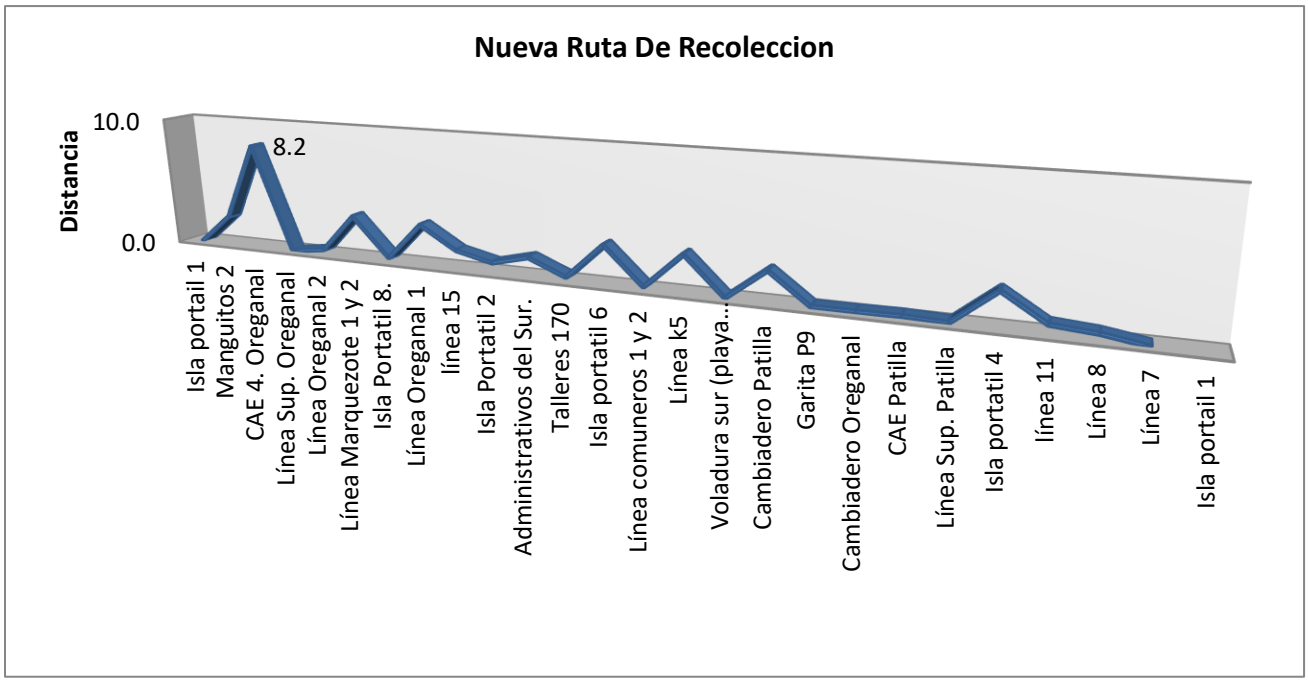


Grafico 5. Resultado, distancias de la nueva ruta de recolección

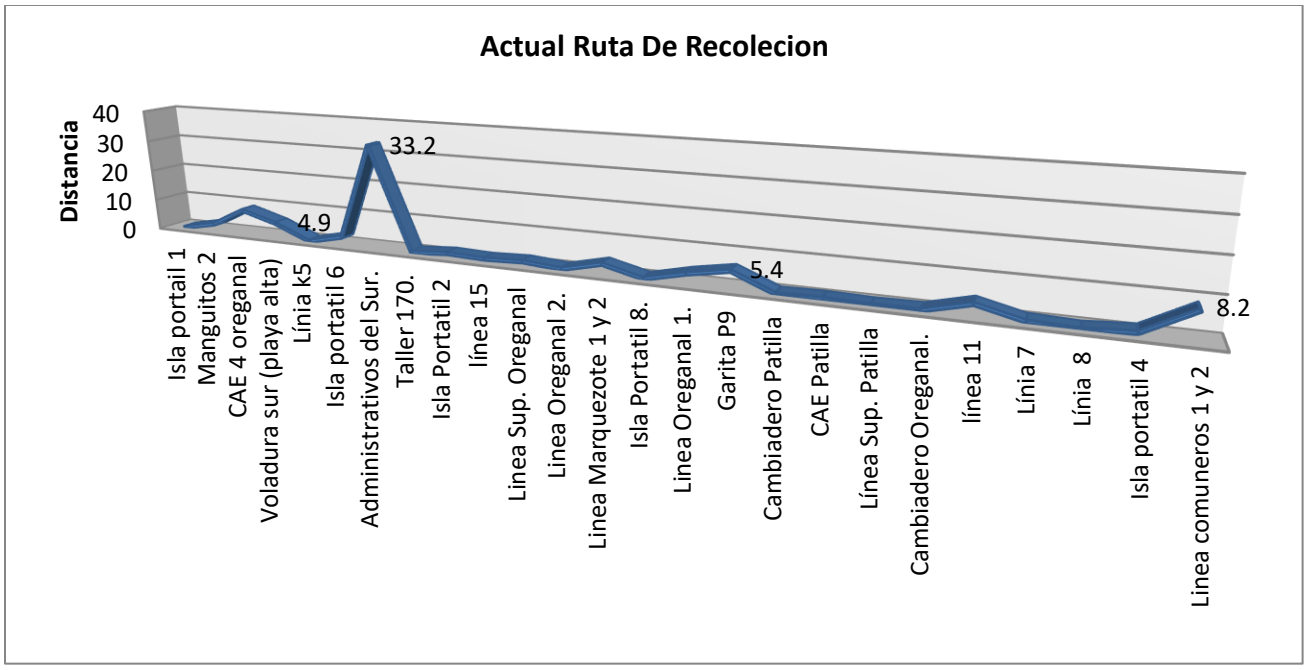


Grafico 6. Distancias de la actual ruta de recolección

En las gráficas 8 y 9 se muestra los sitios donde se hace la recolección de residuos sólidos, en el área de mina sur, así mismo, las distancias que hay de un punto a otro en unidades de Kilómetros.

Solver nos arrojó una ruta, que en comparación a la actual ruta de recolección, disminuye los kilómetros totales recorridos, 34,6 Km de distancia total entre los puntos totales de recolección en la nueva ruta, y 81.8 Km en la actual ruta de recolección, es decir mediante la implementación del modelo del agente viajero, se redujeron 47.2 Km de se redujo un 40% de la distancia recorrida permitiendo así optimizar el proceso de recolección de residuos en cuanto a tiempo y distancia.

Una de las causas por las que no se está optimizando el proceso de recolección de residuos sólidos, es por la falta de efectividad del plan de ruteo, como se observa en el grafico 9, hay lapsos grandes de distancia entre un punto a otro, como de isla portátil a administrativo del sur en 33.2 Kilómetros, es decir movimientos largos que a la final del recorrido y del proceso le suman mucho tiempo y distancia al proceso, pudiendo realizar el mismo proceso pero con una ruta que optimice el proceso y la distancia, como se muestra en el grafico 8.

Sin embargo el hecho que se tenga un nuevo plan de ruta que evidencia la disminución de Kilómetros a recorrer en el proceso de recolección, es importante colocar en práctica los resultados arrojado por solver para cuantificar la efectividad de estos.

En la prueba piloto realizada el 24 de Noviembre del 2015, se programó el proceso de recolección de residuos, con la nueva ruta de recolección es decir con la determinada mediante el problema del agente viajero.

El seguimiento de recolección realizado el 17 de Septiembre del 2015, como se muestra en el anexo 2, tabla 20, y en la imagen 1, en contraste del seguimiento realizado con el nuevo plan de ruteo el 24 de noviembre del 2014, tabla 24, evidencia la carencia de optimización en la recolección de residuos sólidos ordinarios, mientras con el nuevo plan de ruteo se disminuyen 47,2Km de recorridos. En efecto estos resultados, permiten con el tiempo reducir los costos de combustible y mantenimiento del proceso, debido a la reducción de kilómetros, tiempo, que le suman uso al compactador y por lo tanto generación de mayor costo de los anteriores indicadores.

3.6.1 Resultados económicos

Ruta	kilómetros Recorridos en 1 día	Kilómetros recorridos 3 veces por semana
Mina Sur Actual plan de ruta (1)	82	246
Mina Sur Nuevo plan de ruta (2)	35	105

Tabla 19. Kilómetros recorridos, actual y nuevo plan de ruteo

En la actual ruta de recolección se recorren aproximadamente 82 Km, para realizar el proceso de recolección de residuos sólidos en el área de mina sur, como la frecuencia es de tres veces por semana, se recorren 246Km, con la implementación del nuevo plan de ruteo se da una reducción de los kilómetros recorridos, a 105Km en la semana.

Para el funcionamiento de los compactadores se utiliza ACPM (Combustible), cuyo precio es igual a 1GAL ACPM= $2000.50, los galones utilizados en el proceso de recolección de residuos sólidos aproximadamente por los kilómetros que se recorren en el día es de 33 Gal aproximadamente, es decir $66.016,50 por los 33 galones utilizados al recorrer 82 kilómetros, pero si se da una disminución de los kilómetros a recorrer, se dará una disminución de combustible, es decir se utilizarían 15 Galones, equivalente a $30.007,50.

Ruta	Kilómetros Recorridos en 1 día	Galones de ACPM utilizados por los kilómetros recorridos	Precio de 1 Gal de ACPM	Precio a pagar por Gal de ACPM a consumir
Mina Sur Actual plan de ruta (1)	82	33	$ 2.000,50	$ 66.016,50
Mina Sur Nuevo plan de ruta (2)	35	15		$ 30.007,50

Tabla 20. Costos de combustible

4. CONCLUSIONES

El VRP (*problemas de enrutamiento de vehículos)* es un problema recurrente dentro del campo de la logística, puesto que consiste en el diseño de rutas eficientes utilizando técnicas y algoritmos propios de la investigación de operaciones y las tipologías de VRP han evolucionado a medida que aparecen nuevos requerimientos logísticos.

Los problemas de enrutamiento de vehículos, parten del problema del agente viajero, los métodos heurísticos son procesos, que intentan encontrar una buena solución (eventualmente la óptima) aplicando a cada paso un heurístico o algoritmo que es diseñado para cada problema en particular.

Es importante antes de implementar un modelo en un proceso, conocer la situación actual en la que se encuentra el proceso, identificar los factores por las que se sustenta la investigación o implementación, es decir, el porqué de implementar una mejora, y que indicadores se quiere optimizar con la mejora.

Por tanto, un sistema de rutas bien diseñado, trae consigo que el servicio de recolección y transporte de los residuos sólidos de una empresa o comunidad, en este caso de Carbones del Cerrejón, sea eficiente. En otras palabras una mejora notable en el diseño de rutas, reduce costos de operación y mantenimiento, reduce las distancias muertas, se modifica la proporción de distancias productivas respecto a la distancia total recorrida, se da al servicio a todos los puntos de mina sur, tal como se proyectó, se aprovecha la capacidad de los vehículos recolectores y se aprovecha la jornada de trabajo.

El estudio de esta investigación significa un referente de la importancia del mejoramiento continuo de los procesos, de no quedarse con lo que entre comillas está bien , sino de buscar siempre la manera de hacer las cosas mejor, de evaluar, de examinar, de estudiar cómo se puede, realizar el mismo proceso, pero siendo efectivos, y buscando siempre ser productivos.

El seguimiento a las rutas de recolección permitió visualizar las fallas no solo en el proceso logístico de transporte, sino también las falencias que se presenta a lo largo del proceso, como es el cambio de canecas rojas que no es propio del proceso de recolección de residuos solido ordinarios, sino de peligrosos, es decir, el re cambio de bolsas rojas debería ser realizado por los

encargados del proceso de recolección de residuos peligrosos, para no restarle eficiencia al proceso.

Otro punto que se detecto es la demora que se presenta en el cambiadero patilla y oreganal, debido a que el compactador para tener acceso a las canecas tiene que esperar que el vigilante le autorice la entrada al sitio, tiempo que va disminuyendo eficiencia al proceso.

Además de querer optimizar el proceso de recolección, la sostenibilidad del medio ambiente también es uno de los principales objetivos de la compañía y con una buena gestión logística se logra contribuir a liderar procesos de reconstrucción ambiental que brinde satisfacción a sus clientes y optimice sus procesos contribuyendo al cuidado de la belleza de la naturaleza.

El trabajo le aporta al proceso de recolección de residuos sólidos ordinarios, una pauta en la cual se pueden hacer las cosas mejores, que a pesar de no ser un proceso propio de la empresa, el realizarlo de manera efectiva, le va a disminuir gastos a la empresa, y sumar eficiencia.

Adicionalmente a los beneficios a la compañía, la investigación, el análisis y la aplicación real del modelo matemático, en la condición de aspirante al título de ingeniero industrial enriquecen conocimientos y pone en práctica los conocimientos adquiridos.

5. RECOMENDACIONES

La empresa Aseocolba a través de Carbones del Cerrejón Ltda., debe tener en cuenta que la programación de la logística de transporte requiere de una planeación y de una estrategia que permita reducir costos; la opción de modelación matemática que se genera como resultado de la presente investigación permite lograr este objetivo de manera sencilla e involucrando todos los actores que intervienen en el proceso y evidentemente generando optimización del mismo.

Se recomienda a la compañía, tener control de los recorridos, para a través del historial de cada recorrido, se haga real la planeación de los vehículos, así mismo llevar control de los costos de recorrido; es importante que si se genera un volumen notorio de otros materiales se incluya en la programación del algoritmo para que sea confiable y de igual forma se esté actualizando constantemente.

Adicionalmente, los efectos ambientales en los recursos naturales causados por las actividades industriales, deben ser objeto de supervisión, y se debe tener medidas preventivas y correctivas en caso de una eventualidad.

Para optimizar no solo el plan de ruteo de recolección, sino el proceso en conjunto, se debería eliminar los puntos vulnerables del proceso, como brindar una llave a los aseadores cuando lleguen al punto de recolección en el cambiadero patilla y oreganal, oh en su defecto que se le comunique unos minutos antes por radio al vigilante, que el compactador esta próximos a llegar a los cambiadero, y así el acceso sea fácil y rápido.

Por otra parte hacerle seguimiento y estudio al área de mina norte, para igualmente optimizar el proceso de recolección en esta área, implementar mediante el modelo de agente viajero una nueva ruta de recolección,

ANEXO 1

Las tabla 19 muestran la frecuencia, es decir los días en los que se realiza el proceso de recolección en mina sur y norte**.**

LOCALIZACION	FRECUENCIA		
	MARTES	JUEVES	SABADO
Administrativos del Sur.	Administrativos del Sur.	Administrativos del Sur.	Administrativos del Sur.
CAE 4. Oreganal	CAE 4. Oreganal	CAE 4. Oreganal	CAE 4. Oreganal
CAE 3	CAE Patilla	CAE Patilla	CAE Patilla
Cambiadero Oreganal.	Cambiadero Oreganal.	Cambiadero Oreganal.	Cambiadero Oreganal.
Garita P9			Garita P9
Cambiadero Patilla	Cambiadero Patilla	Cambiadero Patilla	Cambiadero Patilla
Isla portail 1	Isla portail 1	Isla portail 1	Isla portail 1
Isla Portatil 2	Isla Portatil 2	Isla Portatil 2	Isla Portatil 2
Isla portatil 4	Isla portatil 4	Isla portatil 4	Isla portatil 4
Isla portatil 6	Isla portatil 6	Isla portatil 6	Isla portatil 6
Isla Portatil 8.	Isla Portatil 8.	Isla Portatil 8.	Isla Portatil 8.
línea 11	línea 11	línea 11	línea 11
línea 15	línea 15	línea 15	línea 15
Línia 7 y 8	Línia 7 y 8	Línia 7 y 8	Línia 7 y 8
Línea comuneros 1 Y 2	Línea comuneros	Línea comuneros	Línea comuneros
Línia k5	Línia k5	Línia k5	Línia k5
Linea Marquezote 1 Y 2	Linea Marquezote	Linea Marquezote	Linea Marquezote
Linea Oreganal 1 .	Linea Oreganal 1 y 2.	Linea Oreganal 1 y 2.	Linea Oreganal 1 y 2.
Linea Sup. Oreganal	Linea Sup. Oreganal	Linea Sup. Oreganal	Linea Sup. Oreganal
Linea Oreganaln 2 K27			
Línea Sup. Patilla	Línea Sup. Patilla	Línea Sup. Patilla	Línea Sup. Patilla
Manguitos 2	Manguitos 2	Manguitos 2	Manguitos 2
Talleres Oreganal 170	Talleres Oreganal	Talleres Oreganal	Talleres Oreganal
Linea Voladura sur (playa alta)	Linea Voladura sur (playa alta)	Linea Voladura sur (playa alta)	Linea Voladura sur (playa alta)

Tabla 21. Frecuencia de recolección en Mina Sur

ANEXO 2

A continuación se muestra el registro del seguimiento realizado a la ruta de recolección, con la ruta habitual de recolección y con el plan de ruteo determinado por el modelo matemático.

Informe de Movimiento Diario
Col FV Syscaf Cerrejon Transporte

Desde 9/17/2015 **Para** 9/17/2015

Descripció **SO-76-144**
Matrícula **COMPACTADOR3**
ID del **30162**
Base **Transporte sanitario**

Fecha de Salida	Hora de Salida	Salida Desde	Tiempo de Conducción (hh:mm:ss)	Distancia (km)	Vel. Máx (km/h)	Hora de Llegada	Llegó a	Tiempo en Localización (hh:mm:ss)
9/17/2015	6:45 AM	Isla portail 1	00:06:14	3.40	49	6:36:00 AM	Manguitos 2	00:00:37
9/17/2015	7:07 AM	Manguitos 2	00:05:24	2.60	43	6:53:13 AM	CAE 4 oreganal	00:02:57
9/17/2015	7:30 AM	CAE 4 oreganal	00:00:58	0.20	16	7:15:48 AM	Voladura sur (playa alta)	00:02:15
9/17/2015	7:52 AM	Voladura sur (playa alta)	00:00:01	0.00	5	7:02:04 AM	Línia k5	00:13:32
9/17/2015	8:00 AM	Línia k5	00:00:43	0.10	17	7:40:16 AM	Isla portatil 6	00:06:23
9/17/2015	8:10 AM	Isla portatil 6	00:01:07	0.30	24	8:20:46 AM	Administrativos del Sur.	00:06:35
9/17/2015	8:50 AM	Administrativos del Sur.	00:00:31	0.10	14	10:11:52 AM	Taller 170.	00:01:58
9/17/2015	8:55 AM	Taller 170.	00:09:16	5.00	62	10:25:51 AM	Isla Portatil 2	00:00:26
9/17/2015	9:08 AM	Isla Portatil 2	00:11:07	5.10	45	10:37:24 AM	línea 15	00:00:59
9/17/2015	9:22 AM	línea 15	00:02:16	0.40	19	10:40:39 AM	Linea Sup. Oreganal	00:04:15
9/17/2015	9:30 AM	Linea Sup. Oreganal	00:00:35	0.00	13	10:45:29 AM	Linea Oreganal 2.	00:00:12
9/17/2015	9:52 AM	Linea Oreganal 2.	00:00:23	0.00	6	10:46:04 AM	Linea Marquezote 1 y 2	00:05:20
9/17/2015	10:17 AM	Linea Marquezote 1 y 2	00:00:03	0.00	6	10:51:27 AM	Isla Portatil 8.	00:05:07
9/17/2015	10:26 AM	Isla Portatil 8.	00:00:01	0.00	5	10:56:35 AM	Linea Oreganal 1.	00:01:36
9/17/2015	10:39 AM	Linea Oreganal 1.	00:02:06	0.40	18	11:00:17 AM	Garita P9	00:00:40
9/17/2015	10:49 AM	Garita P9	00:08:32	4.70	49	11:09:29 AM	Cambiadero Patilla	00:12:28
9/17/2015	10:52 AM	Cambiadero Patilla	00:01:38	0.50	40	11:23:35 AM	CAE Patilla	00:00:17
9/17/2015	10:59 AM	CAE Patilla	00:09:49	5.80	48	11:33:41 AM	Línea Sup. Patilla	01:34:07
9/17/2015	11:10 AM	Línea Sup. Patilla	00:01:17	0.20	22	1:09:05 PM	Cambiadero Oreganal.	00:00:20
9/17/2015	11:19 AM	Cambiadero Oreganal.	00:00:53	0.20	20	1:10:18 PM	línea 11	00:01:18
9/17/2015	11:38 AM	línea 11	00:00:02	0.00	6	1:11:38 PM	Línia 7	00:05:45
9/17/2015	11:46 AM	Línia 7	00:00:37	0.10	11	1:18:00 PM	Línia 8	00:03:02
9/17/2015	11:51 AM	Línia 8	00:01:00	0.20	18	1:22:02 PM	Isla portatil 4	00:00:20
9/17/2015	12:00 PM	Isla portatil 4	00:03:16	0.80	22	1:25:38 PM	Linea comuneros 1 y 2	00:00:56
9/17/2015	12:26 PM	Linea comuneros 1 y 2	00:01:50	0.50	22	1:28:24 PM	Isla portail 1	00:00:11
9/17/2015	12:40 PM	Isla portail 1	00:01:00	0.20	18	12:40 PM		00:00:20
Totales			**5:010:06 AM**	**130.90**				**32:21:27**
Promedio			**00:01:49**	**0.66**				**00:12:56**

Tabla 22. Seguimiento ruta actual de recolección.

Seguimiento Ruta de Recoleccion De Residuos Solidos, Zona Mina Sur						
Dia:	17 Sept - 2015	Camion:	SO-76-144			
No	Sitio	No Canecas	Hora llegada	Hora Salida	T. Efectivo	Observaciones
1	Isla portatil 1			6:45	6:45	
2	Manguitos 2		6:49	7:07	0:18	
3	Cae 4 oseguanal		7:26	7:30	0:04	
4	Voladura sur playa alta		7:46	7:52	0:06	Hay que hacer cambio de bolsas
5	línea K5		7:56	8:00	0:04	Rojas
6	Isla portatil 6		8:05	8:10	0:05	
7	Administrativo del sur		8:43	8:50	0:07	el movimiento es demasiado
8	Taller DD		8:50	8:55	0:05	largo
9	Isla portatil 2		9:02	9:08	0:06	
10	línea 15		9:15	9:22	0:07	
11	Línea sup. oseguanal		9:25	9:30	0:05	Restricción de cuesta
12	Línea oseguanal 2		9:45	9:52	0:07	
13	Línea Manque zone 142		10:10	10:17	0:07	
14	Isla portatil 8		10:20	10:26	0:06	
15	Línea oseguanal 1		10:34	10:39	0:05	
16	Garita pd		10:44	10:49	0:05	
17	Cambadero patilla		10:49	10:52	0:03	Acceso demorado
18	Cae patilla		10:54	10:59	0:05	
19	línea sup. patilla		11:03	11:10	0:07	
20	Cambiadero oseguanal		11:15	11:19	0:04	
21	Línea 11		11:32	11:38	0:06	el vigilante se demoro
22	Línea 7		11:40	11:46	0:06	
23	Línea 8		11:48	11:51	0:03	
24	Isla portatil 4		11:53	12:00	0:07	
25	Línea Comunesos 142		12:20	12:26	0:06	
	Isla Portatil 1			12:40	12:40	
			APROX 6	Horas	21:49	

Imagen 2. Seguimiento ruta de recolección mina sur, 17 de septiembre

Seguimiento Ruta de Recoleccion De Residuos Solidos, Zona Mina Sur						
Dia:	24 Noviembre 2015	Camion:	30-76-144			
No	Sitio	No Canecas	Hora llegada	Hora Salida	T. Efectivo	Observaciones
1	Isla portatil 1			6:45	6:45	
2	Manguitos 2		6:48	7:05	0:17	
3	Cae 4 oseguanal		7:25	7:30	0:05	
4	Linea sup oseguanal		7:31	7:33	0:02	
5	Linea oseguanal 2		7:36	7:40	0:04	
6	Linea Marigelote 1 y 2		8:05	8:10	0:05	Revisan el parqueo
7	Isla portatil 8		8:12	8:14	0:02	
8	Linea oseguanal 1		8:25	8:30	0:05	
9	Linea 15		8:40	8:43	0:03	
10	Isla portatil 2		8:50	8:55	0:05	
11	Administrativos del SUB		8:56	9:05	0:09	
12	Talleres 130		9:06	9:18	0:12	Hacen Break
13	Isla portatil 6		9:25	9:35	0:10	
14	Linea Remuneros 1 y 2		9:40	9:52	0:12	
15	Linea K5		10:04	10:15	0:11	
16	Voladeros SUB (playa alta) 1		10:16	10:25	0:09	
17	Cambiadero parilla		10:35	10:40	0:05	el vigilante dio el acceso a tiempo
18	Basura P9		10:52	10:55	0:03	
19	Cambiadero oseguanal		10:56	10:58	0:02	
20	Cae parilla		10:59	11:05	0:06	se dio el acceso rapido
21	Linea sup parilla		11:06	11:10	0:04	
22	Isla portatil 4		11:20	11:23	0:03	
23	Linea 11		11:23	11:27	0:04	
24	Linea 8		11:30	11:33	0:03	
25	Linea 7		11:34	11:40	0:06	
	Isla portatil 1			11:45		
	TOTAL		5 Horas aprox		9:12	

Imagen 3 Seguimiento ruta de recolección mina sur, 24 de noviembre

En las gráficas siguientes se puede apreciar el porcentaje de distribución de tiempo utilizado en el proceso de recolección de residuos sólidos, donde se refleja que el mayor tiempo es el que se utiliza en el recorrido.

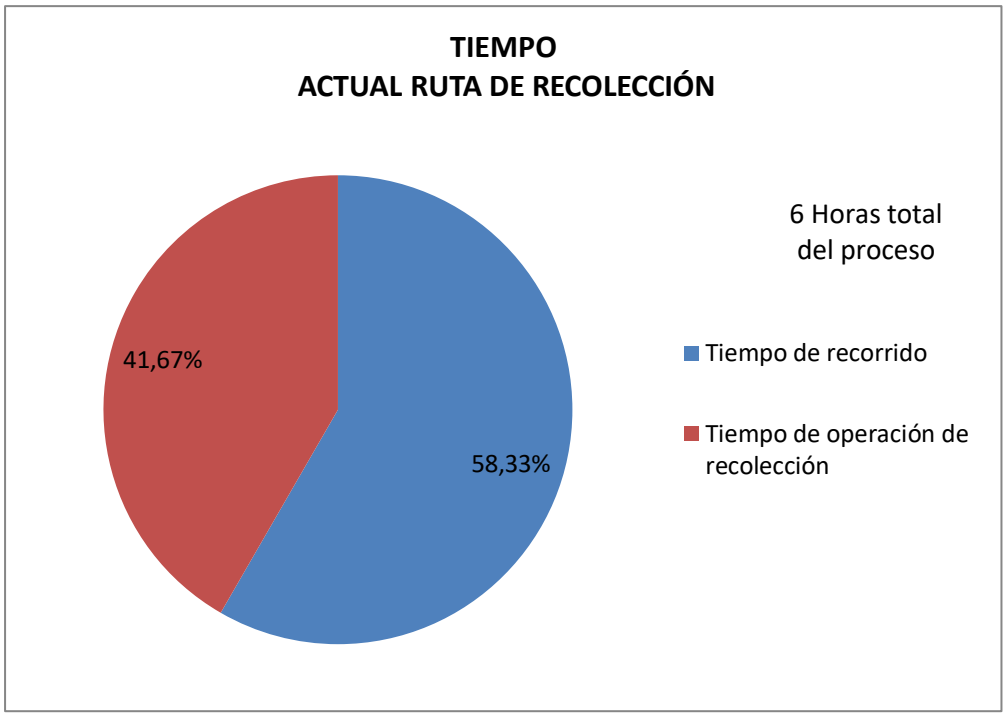


Grafico7.Porcentaje de distribución de tiempo del proceso de recolección.

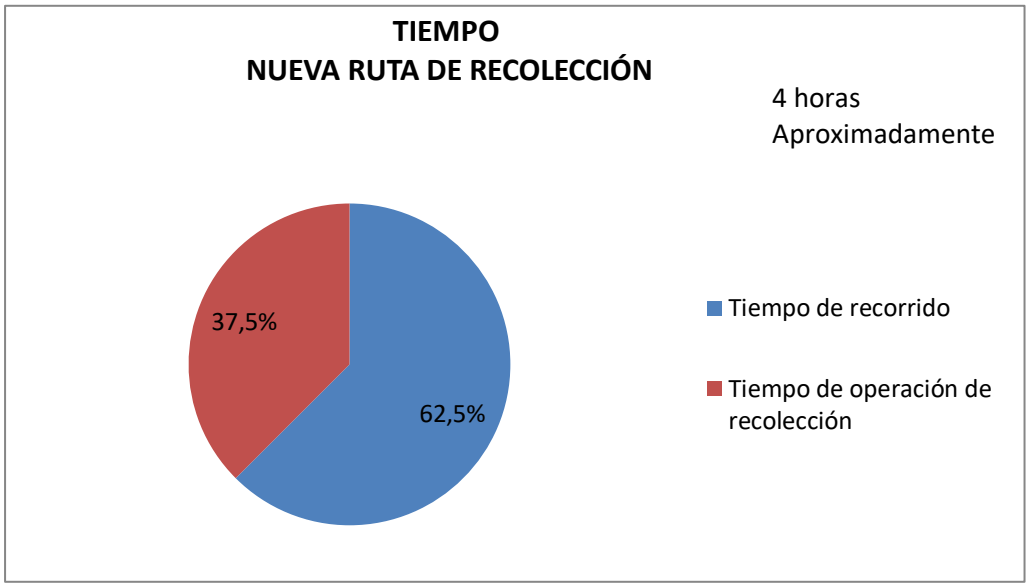


Grafico8.Porcentaje de distribución de tiempo del proceso de recolección

ANEXO 3

I. Procedimiento del proceso de recolección.

	RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS CON COMPACTADOR DE CARGUE TRASERO	Cod: PDT:0CT-0511

OBJETIVO

Identificar y desarrollar cada uno de los pasos que se requiere para ejecutar la tarea, cumpliendo con las normas de tránsito aplicables para prevenir la ocurrencia de accidentes durante la ejecución de la tarea. Cumpliendo con los estándares de seguridad, calidad y ambiente, buscando en todo momento proteger la integridad física y mental del trabajador, cumplir con los requisitos del cliente y minimizar los impactos negativos al medio ambiente, ejecutando un servicio de óptima calidad.

1. Inspecciones

- El conductor y los auxiliares realizan inspección Preoperacional del equipo, diligenciando el formato respectivo.
- Realizan inspección de los elementos de protección personal.
- Realizan el AST evaluando las condiciones actuales del equipo, áreas a visitar las condiciones ambientales que puedan generar riesgos adicionales a la operación.
- Al llegar a cada punto de recolección, los auxiliares se bajan y realizan inspección del área, para identificar elementos, animales que puedan causarles daño.
- Revisa que las canecas no contengan elementos que puedan ocasionarle daño al conjunto compactador, (material no compactible, como pedazos de metal o madera rígida) y residuos aceitosos.

2. Recorrido

- El operador verifica la ruta a seguir de acuerdo a la programación del recorrido a cumplir.
- Se traslada en el equipo a los diferentes sitios establecidos en el recorrido, con la baliza encendida.
- El operador debe cumplir con las normas de tránsito y de manejo defensivo, tanto en el campamento como en el área mina.
- Durante el recorrido los auxiliares deben trasladarse en la cabina del equipo.
- El operador mantendrá el vehículo en marcha lento en áreas residenciales cada vez que llegue a los sitios donde hay canecas con residuos.

3. Recolección

- En el sitio de recolección los dos auxiliares toman cada caneca por la parte interior y superior para poder levantarla.
- Los auxiliares depositan los residuos en la tolva de la cola parejo en los dos lados y los objetos pesados en el centro.
- No pueden cargar residuos por encima de la altura del borde de cargue de la tolva.
- Cuando desocupan las canecas verifican que no quedan residuos regados en el suelo, de ser así los recogen y depositan en la tolva.
- Después de resolver los residuos en la tolva los auxiliares devuelven las canecas en sus sitios correspondientes.

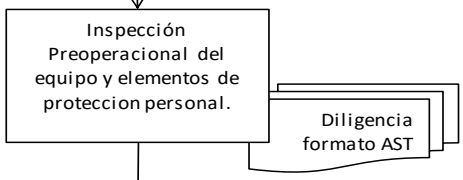
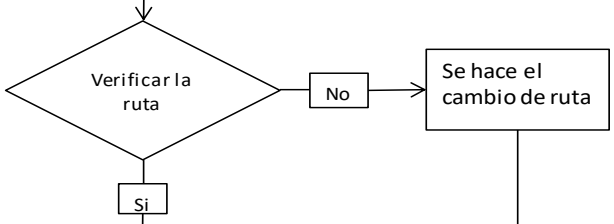
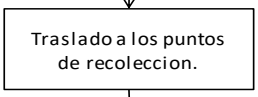
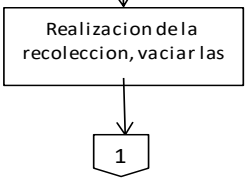
4. Compactación

- Cuando la tolva está llena hasta el límite, el auxiliar da aviso al conductor, para que dé inicio al ciclo de compactación, accionando las palancas que se encuentran en el costado derecho de la cola, halando dos palancas simultáneamente hacia afuera.
- Terminan el ciclo de compactación, empujando las dos palancas hacia dentro.

5. Descargue final

- Los auxiliares deben inspeccionar el terreno antes de desocupar el equipo, para evaluar las condiciones de este antes de ingresar al área de descarga.
- Desenganchan los seguros de cola, que se encuentran uno a cada lado de la cola en la parte inferior.
- Presionan la palanca de expulsión, para expulsar los residuos de la caja.

II. Diagrama de flujo

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS		
OBJETIVO: Describir los pasos que se llevan a cabo para realizar la tarea de recolección de residuos sólidos, en el área de minas.		
ALCANCE: Aplica a los trabajadores de Aseocolba, encargados de la recolección de residuos, y los usuarios del servicio.		
No.	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO
1		Inicio del proceso de recoleccion de residuos solidos ordinarios.
2		El conductor y los auxiliares realizan inspección Preoperacional del equipo, y de los elementos de protección personal, diligenciando el formato respectivo. Realizan el AST evaluando las condiciones actuales del equipo, áreas a visitar las condiciones ambientales que puedan generar riesgos adicionales a la operación
3		El operador verifica que la ruta a seguir este de acuerdo a la programación del recorrido a cumplir, si no es asi, pide al supervisor la ruta del dia
4		Se da inicio al recorrido de recoleccion, los opreadores se trasladan en el equipo a los diferentes sitios establecidos en el recorrido, con la baliza encendida.
5		En el sitio de recolección los dos auxiliares toman cada caneca por la parte interior y superior para poder levantarla.Los auxiliares depositan los residuos en la tolva de la cola parejo en los dos lados y los objetos pesados en el centro

6	1 Limpiar el punto de recoleccion	Los auxiliares, luego de haber depositado la basura en el equipo compactador limpian el sitio, de la basura que queda suelta en el piso.
7	Cambio de bolsas	Los auxiliares hacen recambio de bolsas negras
8	Dar inicio a la compactacion	Cuando la tolva está llena hasta el límite, el auxiliar da aviso al conductor, para que dé inicio al ciclo de compactación, accionando las palancas que se encuentran en el costado derecho de la cola.
9	Dar finalizacion al ciclo compactador	Ya compactados los residuos el conductor da finalizacion al ciclo compactador, empujando las dos palancas hacia dentro.
10	Descarga de residuos	Despues de haberse dirigido al relleno sanitario los operadores realizan la ultima actividad que es el de descargar los residuos en el relleno.Tienen que evaliara las conidiones del sitio, y presionar la palanca de
11	Fin	Finalizacion del proceso de recoleccion de residuos

Ilustración 1. Diagrama de flujo

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

Bruce Golden, S. R. (2008). "The vehicle routing problem: latest advances and new challenges".

Byung-In Kima, S. K. (2005). *Waste Collection vehicle routing problem with windowss* . Pohang, Kyungbuk, Korea.

Cheung, S. K. (1987). Scheduling Vehicles for Refuse Colletion. En *Journal of th Operations Research Society* (págs. Vol 38 N°3 pp 233-239).

Cruz R, a. E. (2009). *Reverse logistics network design for the collection of End-of-life.* Mexico.

DANTZING, G. R. (1959). The Truck Dispatching Problem Management Science. 6,80.

Dionisio Perez Brito, J. A. (2004). "Búsqueda por entornos variables: Desarrollo y Aplicaciones en localización.

Eduardo Salazar Hornig, N. R. (2007). *Aco model applied to th waste collection by containers.*

H.A.Taha. (2004). *Investigacion de operaciones* . Mexico, Prentice Hall.

Jewells, W. (1962). Optimal Flows through Networks Networks with Gains. En *Operations Research* (págs. Vol N°4, pp 476-499).

Kullar, T. (1996). Optimizing Solid Waste Collection in Brussels. En *Journal of Operational Research* (págs. Vol. 90 N°1, pp. 71-77).

L. Bodin, G. F. (1989). The Design of a Computerized Sanitation Vehicle Routing and Scheduling for the Town of the Oyster Bay. En *Computers and Operations Research* (págs. Vol 16 N°1, pp. 45-54). New york.

Leonora Bianchi, M. B. (s.f.). "Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands". *Lecture Notes in Computer Science*.

Li, J. S. (2008). *Improved Ant Colony Optimization for the Traveling Salesman Problem International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation.*

Li, L. J. (2009). *Improved Ant Colony Optimization for the Traveling End-of-Life Vehicles in Mexico.* Mexico.

M.R. Khouadjia B. Sarasola, E. J.-G. (s.f.). *A comparative study between dynamic adapted PSO and VNS for the vehicle routing problem with dynamic requests* . 2012.

N. Karadimas, G. K. (2005). Urban Solid Waste Collection adn Routing: The Ant Colony Strategic Approach. En *International Journual of Simulation* (págs. Vol 6 N° 12-13 pp 45-53).

Nigam, A. a. (1968). A Mathematical Model for The Optimization Of Waste Management System. *Sanitary Engineering Reserach Laboraty*, Report No. 68-1.

Nigam, L. A. (1968). “A Mathematical Model for the Optimization of Waste Management System”. .

Olivera, A. (2004). "Heuristicas oara problemas de ruteo de vehiculos".

Olivera, A. (2004). *Heuristicas para problemas de ruteo de vehiculos.* Republica Montevideo, Uruguay.

Paolo Toth, D. V. (2002). “The Vehicle Routing Problem”. Society of Industrial and Applied Mathematics (SIAM) monographs on discretemathematics and applications, Philadelphia.

Schultmann F, Z. M. (s.f.). Modeling reverse logistic taskes within closed-loop supply chains: An example from teh automoyive industry. En *European Journall of Operation Research 2006* (págs. Vol 171, pp 1033-1050).

Shan-Heun, H. P.-C. (2015). Vehicle routing-scheduling for municipal waste collection sytem the "Keep Tras off the Ground" Policy.

Speranza, R. M. (1998). A Linear Programming Model for the Separate refuse Collection Service. En *Computers and Operations Research* (págs. Vol. 25 N° 7-8, pp. 659-673).

WU, b., & CAI Hong, C. Z.-y. (2013). Artificial Bee Colony Algorithm for Two dimensional Loading Capacitated Vehicle Routing Problem. *International Conference on Management Science & Engineering.*

Xiaoyun bing a, M. d.-R. (2004). Vehicle routing for the ecco-efficent collection of household plastic .

Zhao N, Q. T. (2010). *Ant colony optimization algorithm with mutation mechanism and its applications.*

Zulvia, F. E., Kuo, R., & Hu, T.-L. (2012). *Solving CVRP with Time WIndow, Fuzzy Travel Time and Demand Via A Hybird Ant Colony Optimization and Genetic Algortihm.*